



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**NÁVRH ÚPRAVY TOKU S PŘÍHLÉDNUTÍM
K PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANĚ A REVITALIZACI**

RIVER REGULATION AND DESIGN OF FLOOD PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Gřegoř

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Adam Gřegoř
Název	Návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Příčné a podélné profily úseku toku
- 2) Situace a digitální model terénu
- 3) Hydrologické podklady

Literatura:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".
- 3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.
- 4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- 5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Dále budou stanoveny rozlivy při povodňových průtocích. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. David Duchan, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem protipovodňové ochrany na vodním toku Velička (ústí do Bečvy), který protéká územím obce s rozšířenou působností Hranice. Modelování proudění bylo provedeno v programu HEC-RAS 5.0.6 na 1D modelu proudění povrchové vody. Na základě rozlivů vody při povodňových průtocích Q5, Q20 a Q100 byly vypracovány dvě varianty řešení protipovodňové ochrany. První varianta návrhu protipovodňové ochrany neuvažovala s realizací poldru Lhotka. Druhá varianta návrhu protipovodňové ochrany uvažovala s realizací poldru Lhotka, který byl navržen ve studii firmy AgPOL s.r.o. severně od Hranic, a který transformuje povodňové průtoky. Výsledkem práce jsou mapy rozlivů pro povodňové průtoky Q5, Q20 a Q100 po realizaci ideových variant návrhů protipovodňové ochrany. V závěru práce je zhodnocena vhodnost variant řešení protipovodňové ochrany.

KLÍČOVÁ SLOVA

Velička, Hranice, Lhotka, protipovodňová ochrana, poldr, rozlivy, HEC-RAS, 1D

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with designing flood protection on the watercourse Velička (tributary of the river Bečva), which is situated in the area of Hranice municipality. The flow modelling was done as 1D surface water HEC-RAS model. Two options of flood protection were designed based on the size of the flood areas that occurred during flood flows Q5, Q20 and Q100. The first option did not consider the usage of Lhotka dry pond. The second option considered the usage of Lhotka dry pond, which was designed in the study made by AgPOL s.r.o. firm to the north of Hranice and which transforms flood flows. The result of the bachelor's thesis are maps of flood areas that occurred during the flood flows Q5, Q20 and Q100 after the implementation of flood protection options. In conclusion, the suitability of the flood protection options is evaluated.

KEYWORDS

Velička, Hranice, Lhotka, flood protection, dry pond, flood areas, HEC-RAS, 1D

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Adam Gřegoř *Návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci*. Brno, 2019. 87 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2019

Adam Gřegoř
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2019

Adam Gřegoř
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Davidovi Duchanovi, Ph.D., za ochotu, trpělivost, smysl pro humor a předání co nejvíce ze svých znalostí a vědomostí. Také děkuji Povodí Moravy, s.p. a firmě AgPOL s.r.o. za poskytnutí podkladů.

OBSAH

1	Úvod.....	4
2	Cíle.....	5
3	Proudění vody v otevřených korytech	6
3.1	Typy proudění.....	6
3.1.1	Ustálené a neustálené proudění.....	6
3.1.2	Rovnoměrné a nerovnoměrné proudění	6
3.2	Rovnoměrné ustálené proudění	6
3.2.1	Rovnice kontinuity, rychlost proudění vody v korytě	6
3.2.2	Rychlostní vztah dle Pavlovského	7
3.2.3	Rychlostní vztah dle Manninga	7
3.2.4	Rychlostní vztah dle Stricklera	7
3.2.5	Drsnost koryta.....	8
3.3	Nerovnoměrné ustálené proudění, energetické ztráty	9
3.4	Metoda po úsecích	9
3.5	Křivka vzduť a snížení	10
3.1	Princip určení úrovně hladiny v HEC-RAS 1D.....	11
4	Úpravy toků	13
4.1	Renaturace	13
4.2	Revitalizace	13
4.3	Umělá a revitalizovaná koryta	14
4.3.1	Umělá koryta.....	14
4.3.2	Revitalizovaná koryta	16
4.4	Přírodě blízká PPO	18
4.4.1	Podélné stabilizační prvky blízké přírodě.....	18
4.4.2	Příčné stabilizační prvky blízké přírodě	21
4.5	Vegetační doprovod toků.....	23
4.6	Prvky PPO	24
4.6.1	Mrtvá ramena	24
4.6.2	Tůň	25
4.6.3	Inundace.....	25
4.6.4	Protipovodňové parky	26
4.6.5	Poldry.....	26
4.6.6	Zemní valy	28

4.6.7	Protipovodňová zeď	29
4.6.8	Mobilní hrazení	30
5	Vstupní podklady	31
6	Popis lokality	33
6.1	Správní údaje	33
6.2	Klimatické údaje	33
6.3	Geologické poměry	33
6.4	Využití území	33
7	Charakteristika toku	34
7.1	Objekty	34
7.2	Opevnění	35
7.3	Vegetace	36
8	Hydraulický model	37
8.1	Použitý software	37
8.1.1	Autodesk CIVIL 3D	37
8.1.2	QGIS a ArcGIS	37
8.1.3	Microsoft Office Excel	37
8.1.4	HEC-RAS	37
8.2	Předpoklady řešení, schematizace	38
8.3	Okrajové podmínky	40
8.3.1	Sklon dna	40
8.3.2	Hydrologická data	41
8.4	Geometrická data a jejich úprava	42
8.5	Kalibrace modelu	45
9	Kapacita koryta za stávajícího stavu	47
10	Návrh PPO	48
11	Varianta 1 (PPO bez poldru Lhotka)	50
11.1	Kapacita koryta s PPO bez poldru Lhotka	50
11.2	Stavební objekty	52
11.2.1	Stavební objekty 01 a 02	52
11.2.2	Stavební objekty 03 a 04	55
11.2.3	Stavební objekty 05 a 06	57
11.2.4	Stavební objekt 07	59
11.2.5	Stavební objekty 08 a 09	61
11.2.6	Stavební objekty 10 a 11	63

11.2.7	Stavební objekt 12.....	65
11.2.8	Stavební objekt 13.....	67
11.2.9	Stavební objekt 14.....	69
12	Varianta 2 (PPO s poldrem Lhotka).....	71
12.1	Kapacita koryta s PPO s poldrem Lhotka.....	71
12.2	Stavební objekty	72
12.2.1	Stavební objekt 01.....	72
13	Návrh technického řešení prvků PPO	74
13.1	Protipovodňová zeď.....	74
13.2	Zemní val.....	75
13.3	Mobilní hrazení.....	75
14	Závěr.....	76
15	Seznam zdrojů	78
16	Seznam obrázků	80
17	Seznam tabulek	82
18	Seznam zkratk a symbolů.....	83
19	Seznam příloh.....	87

1 ÚVOD

V přírodě dochází vlivem globálního oteplování ke změně rozvržení srážkových událostí v čase. Obecně lze konstatovat, že se prodlužují období sucha, ale celkový objem srážek v přírodě se nemění a tudíž narůstá jejich intenzita.

Z tohoto důvodu bude navrhování protipovodňové ochrany (dále jen PPO) stále aktuální inženýrskou činností.

Škodám, které vznikají na místech bez PPO, je možno předejít opatřeními, která zkoncentrují vodu do dostatečně kapacitního koryta a zajistí její bezpečný odtok pryč z chráněného území, nebo změnou průběhu povodňové vlny (transformací). Využít lze samozřejmě i kombinace výše uvedeného.

V minulosti se upřednostňovala filozofie rychlého odvedení vody z chráněného území. To vyžadovalo budování vysoce kapacitních odolných koryt, což mělo neblahé účinky na přirozené chování vody v krajině a na něm závislé organismy. V současnosti se inženýrská praxe v ČR začíná přiklánět k budování takových opatření, která buďto přímo podporují původní přírodní charakter koryta (revitalizace) nebo jej omezují v co nejmenší možné míře (přírodě blízká PPO).

Území obce s rozšířenou působností Hranice bylo několikrát zasaženo povodněmi a proto obec nechala firmou AgPOL s.r.o. vypracovat studii proveditelnosti protipovodňových opatření pro vybrané přítoky Bečvy, které samy o sobě ohrožují intravilán Hranic. Tato studie řešila PPO navržením soustavy poldrů.

Cílem práce je na jednom z výše zmíněných přítoků Bečvy, vodním toku Velička, navrhnout alternativní řešení PPO, které nevyužívá transformačního účinku poldru Lhotka, a porovnat je s variantou, která naopak poldr Lhotka využívá. Motivací byla snaha prohloubit své znalosti modelování v programu HEC-RAS řešením problémů, které projekt založený na reálných v praxi používaných podkladech přináší, a prohloubení znalostí o komplexnosti návrhu PPO v oblasti intravilánu.

2 CÍLE

Cílem práce je návrh a porovnání dvou variantních řešení PPO na jednom z pravobřežních přítoků řeky Bečvy, vodním toku Velička, v úseku 2,063-6,280 ř. km (kilometráž uvedená v podkladech od Povodí Moravy, s.p.). Uvedený úsek toku protéká intravilánem i extravilánem místních částí obce s rozšířenou působností Hranice, konkrétněji Hranice I-Město, Hranice II-Lhotka a Hranice III-Velká a extravilánem sousední obce Olšovec.

První řešená varianta PPO (dále jen varianta 1) neuvažuje s realizací výstavby poldru Lhotka. PPO je tedy navržena pro stávající netransformované průtoky.

Druhá řešená varianta PPO (dále jen varianta 2) uvažuje s transformací průtoků poldrem Lhotka dle údajů ze studie proveditelnosti protipovodňových opatření pro vybrané přítoky Bečvy, kterou vypracovala firma AgPOL s.r.o.

Práce je členěna na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části bakalářské práce je vysvětlen rozdíl mezi rovnoměrným a nerovnoměrným ustáleným prouděním, stručně popsány základní fyzikální vztahy, případně empirické vzorce, které se k daným typům proudění vztahují, popsány křivky vzdutí a snížení a stručně vysvětlen princip, jenž program HEC-RAS používá pro výpočet úrovně hladiny vody v korytě při jednodimenzionálním (dále jen 1D) modelování. Dále je v ní vysvětlen rozdíl mezi renaturací a revitalizací, umělými a revitalizovanými koryty a vysvětlena přírodě blízká PPO spolu se stručným výčtem jejích základních prvků. Následuje kapitola o základních zákonitostech výskytu vegetace v korytě toku a kapitola s výčtem a stručným popisem základních prvků PPO.

Praktická část obsahuje kapitoly s výpisem podkladů použitých při návrhu PPO ve výše uvedených dvou variantních řešeních, popis dané lokality a charakteristiku řešeného úseku. Následující kapitoly se už zabývají hydraulickým modelem, konkrétně stručným popisem použitého softwaru, předpoklady řešení a schematizací modelu, okrajovými podmínkami, zpracováním geometrických dat a kalibrací modelu. Poslední úsek praktické části se zabývá interpretací a komentářem výstupních dat z použitého jednodimenzionálního modelu (viz přílohová část bakalářské práce) proudění vody ve stávajícím korytě, v korytě upraveném bez použití poldru a v korytě upraveném v závislosti na efektu transformace průtoků poldrem Lhotka.

3 PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH

Předpokladem pro řešení proudění vody v otevřených korytech je chování změn tlaku ve vodě podle hydrostatických pravidel a nahrazení délky proudu promítnutím do vodorovné roviny, přičemž průřezy jsou nahrazeny svislými řezy. [1]

3.1 Typy proudění

Při vytváření hydraulického modelu se proudění vody v korytech dělí dle dvou pro modelování nejvýznamnějších kritérií.

Prvním kritériem je změna průtoku v čase, druhým je změna prostorového charakteru koryta po jeho délce. [1]

3.1.1 Ustálené a neustálené proudění

Rozdělení proudění dle změny průtoku v čase [1]:

- **Ustálené proudění** – proudění, při kterém je průtok Q v čase konstantní.
- **Neustálené proudění** – proudění, při kterém se průtok Q v čase mění.

3.1.2 Rovnoměrné a nerovnoměrné proudění

Rozdělení proudění dle prostorového charakteru koryta po jeho délce [1]:

- **Rovnoměrné proudění** – charakteristiky koryta jako průtočná plocha S , omočený obvod O , drsnost koryta n , rychlost proudění vody v korytě v a podélný sklon dna koryta i_0 , jsou po celé jeho délce konstantní.
- **Nerovnoměrné proudění** – charakteristiky koryta nejsou po celé délce koryta konstantní.

3.2 Rovnoměrné ustálené proudění

Rovnoměrné ustálené proudění se vyznačuje tím, že sklon dna i_{0j} je roven sklonu hladiny i_h a sklonu čáry energie i_e . [1]

V umělých kanálech splňujících příslušné charakteristiky (konstantní sklon dna i_0 aj.) lze rovnoměrné ustálené proudění uvažovat. V přirozených přírodních kanálech v podstatě rovnoměrné ustálené proudění nevzniká, jelikož příčný profil, drsnost a sklon takových koryt nejsou po celé délce konstantní [1].

3.2.1 Rovnice kontinuity, rychlost proudění vody v korytě

Výpočet průtoku Q [m^3/s] se provádí klasicky dle rovnice kontinuity [1]:

$$Q = Sv, \quad (3.1)$$

kde S je průtočná plocha profilu, ve kterém je průtok spočítán [m^2], a v je rychlost proudění vody v korytě [m/s].

Rychlost proudění vody v korytě v [m/s] se vypočte dle Chézyho rovnice [1]:

$$v = C \sqrt{R i_{0j}}, \quad (3.2)$$

kde C je rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$], R je hydraulický poloměr [m] a i_{0j} je sklon dna [-].

Velký význam při výpočtu rychlosti proudění vody v korytě má drsnost koryta n [-], která ovlivňuje hodnotu rychlostního součinitele C .

Pro výpočet rychlostního součinitele C existují různé vztahy, které, pokud jsou použity na stejný profil, mohou dodat navzájem odlišné výsledky.

3.2.2 Rychlostní vztah dle Pavlovského

Rychlostní vztah dle Pavlovského je dle [15] považován za nejspolehlivější.

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (3.3)$$

kde n je drsnostní součinitel [-] a hodnota mocninného členu y se vypočte z rovnice [1]:

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1) \quad (3.4)$$

3.2.3 Rychlostní vztah dle Manninga

Rychlostní vztah dle Manninga uvažuje, že v rychlostním vztahu dle Pavlovského (viz rovnice 3.3) je hodnota mocninného členu y konstantou [1]:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (3.5)$$

3.2.4 Rychlostní vztah dle Stricklera

Rychlostní vztah dle Stricklera rovnou upravuje Chézyho rovnici (viz rovnice 3.2) tak, že rychlost proudění vody v korytě v se neurčí z rychlostního součinitele C , ale ze součinitele k_s závislého na zrně [1]:

$$v = k_s R^{2/3} i_e^{1/2}, \quad (3.6)$$

kde k_s je součinitel závislý na zrně [-] a jehož hodnota je určena ze vztahu [1]:

$$k_s = \frac{21,1}{\sqrt[6]{d_s}}, \quad (3.7)$$

kde d_s je 55% zrno křivky zrnitosti pro vrstvu pokrývající povrch koryta [m].

3.2.5 Drsnost koryta

Drsnost n , uváděna také jako drsnostní součinitel, je bezrozměrná veličina [-]

Její hodnotu lze určit empirickými měřeními, která jsou ovšem pro inženýrskou praxi z časového hlediska nevýhodná. Obvykle se tedy určuje z tabulek, případně katalogů drsností, vycházejících z výsledků empirických měření.

Vzhledem k rozdílnosti charakteru toků v různých lokalitách je dobré provést volbu tabulek či katalogů drsností na základě lokality, ve které se řešený úsek koryta nachází.

Určení hodnot drsnosti tímto zjednodušeným způsobem vnáší do výpočtu lidský faktor.



Obr. 3.1 – Koryto s empiricky určenou hodnotou drsnosti [J]

Na obr. 3.1 je jeden z mnoha úseků, ve kterých byla hodnota celkové drsnosti koryta určena empiricky, a který byl následně použit pro vytvoření katalogu drsností ([J]).

3.3 Nerovnoměrné ustálené proudění, energetické ztráty

Nerovnoměrné ustálené proudění vzniká, je-li průtok Q konstantní a charakteristiky koryta se mění.

Při proudění v korytě vznikají energetické ztráty [1]:

- **Ztráty místní** – vznikají v důsledku změn tvarů a rozměrů průtočného profilu po délce koryta.
- **Ztráty třením (po délce)** – vznikají v důsledku tření vody o povrch koryta a vzájemným třením proudových vláken o sebe.

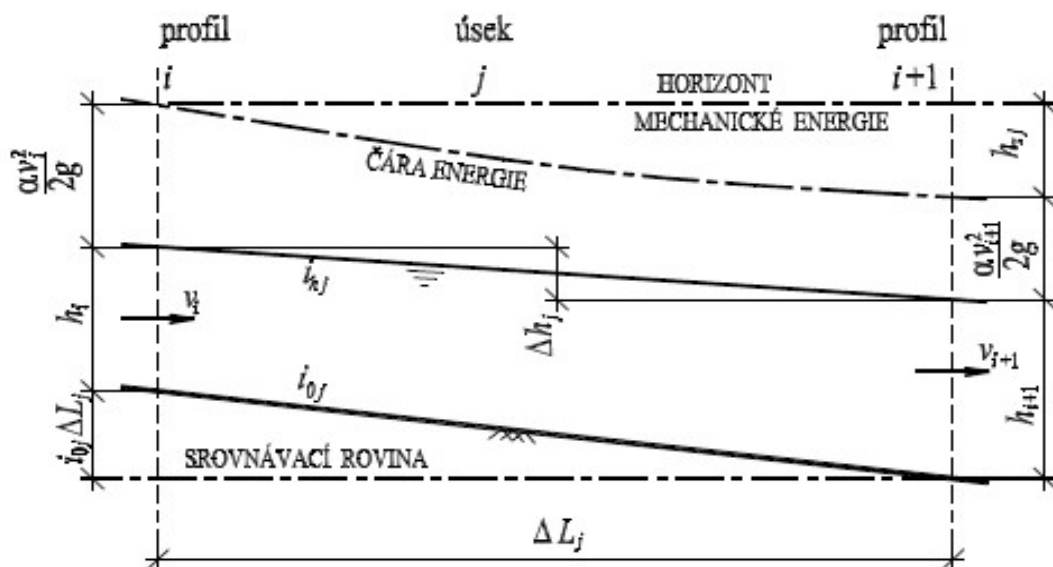
3.4 Metoda po úsecích

Nerovnoměrné ustálené proudění se řeší tzv. metodou po úsecích.

Koryto s různými příčnými profily se rozdělí na úseky o délce ΔL_j [m] (viz obr. 3.2). Předpokládá se, že průtočné profily a rychlosti proudění se mění mezi jednotlivými úseky spojitě. Poté pro profil i a $i+1$ lze napsat Bernoulliho rovnici ve tvaru [1]:

$$i_{0j} \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}, \quad (3.8)$$

kde i_{0j} je sklon dna [-], h_i a h_{i+1} jsou hloubky hladiny pro daný profil [m], α je Coriolisovo číslo, vyjadřující nerovnoměrné rozložení rychlostí [-], v_i a v_{i+1} jsou rychlosti proudění pro daný profil [m/s], g je tíhové zrychlení [m/s^2] a h_{zj} je ztrátová výška [m].



Obr. 3.2 – Schéma nerovnoměrného ustáleného proudění [1]

Poté platí, že rozdíl hladin v profilech Δh [m] lze určit jako [1]:

$$\Delta h = i_{0j} \Delta L_j + h_i - h_{i+1} = \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} - \frac{\alpha v_i^2}{2g}, \quad (3.9)$$

Přičemž celkové energetické ztráty h_{zj} lze určit pomocí vztahu [1]:

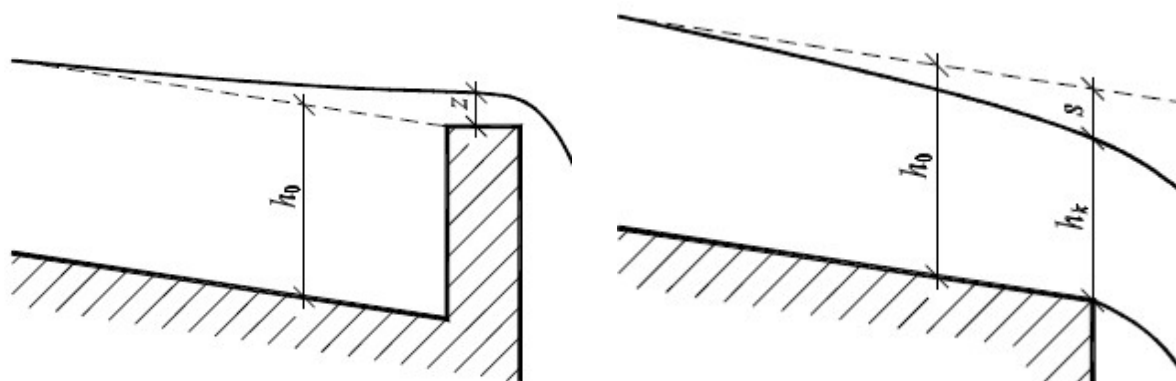
$$h_{zj} = h_t + h_m = (i_{pj} \Delta L_j) + \xi \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} - \frac{\alpha v_i^2}{2g} \right|, \quad (3.10)$$

kde h_t jsou ztráty třením po délce [m], h_m jsou ztráty místní [m], i_{pj} je průměrný sklon čáry energie [-] a ξ je součinitel místních ztrát [-].

3.5 Křivka vzduť a snížení

Křivky vzduť a snížení (viz obr. 3.3) jsou prostorové změny hloubky a sklonu hladiny oproti původní hladině (tj. vzduťm či snížením neovlivněné), která by se realizovala při konstantním průtoku Q [1]:

- **Křivka vzduť** – vznikne, je-li koryto zúženo (např. jezovou konstrukcí). Hladina v profilu, ve kterém dochází ke vzduť, je hlubší než původní hladina. Vzduťtá hladina má oproti původní hladině menší podélný sklon. Protiprouděním směrem se průběh vzduťté hladiny asymptoticky blíží průběhu původní hladiny.
- **Křivka snížení** – vznikne, je-li koryto rozšířeno. Hladina v profilu, ve kterém dochází ke snížení, je mělká než původní hladina. Snížená hladina má oproti původní hladině větší podélný sklon. Protiprouděním směrem se průběh snížené hladiny asymptoticky blíží průběhu původní hladiny.



Obr. 3.3 – Křivka vzduť (vlevo) a snížení [1]

3.1 Princip určení úrovně hladiny v HEC-RAS 1D

Program využívá jako základ rovnici kontinuity (viz rovnice 3.1) a metodu po úsecích (viz rovnice 3.8). [14]

Výpočet celkových energetických ztrát v daném profilu (viz rovnice 3.10) se liší tím, jak je určena délka úseku koryta ΔL_j [m] [14]:

$$\Delta L_j = L = \frac{L_{PB}Q_{PB} + L_{osa}Q_{osa} + L_{LB}Q_{LB}}{Q_{PB} + Q_{osa} + Q_{LB}}, \quad (3.11)$$

kde L je váženým průměrem určená délka koryta mezi příčnými profily, ve kterých je proudění řešeno [m], L_{PB} je vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako břehové čáry na pravé straně koryta [m], Q_{PB} je průtok v oblasti nacházející se za pravou břehovou čarou (směrem od koryta) až do konce profilu [m^3/s], L_{osa} je vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako osa koryta na [m], Q_{osa} je průtok v oblasti koryta (tj. mezi břehovými čarami) [m^3/s], L_{LB} je vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako břehové čáry na levé straně [m] a Q_{LB} je průtok v oblasti nacházející se za levou břehovou čarou (směrem od koryta) až do konce profilu [m^3/s].

Hodnota Coriolisova čísla α [-] a součinitele změny průtočné plochy K [-] (anglicky conveyance) je určena tak, že se koryto rozdělí na oblasti za pravou břehovou čarou, koryto a oblast za levou břehovou čarou. [14]

Oblasti za pravou a levou břehovou čarou se dále rozdělí svislicemi v bodech, kde se mění hodnoty drsnosti n [-] (tzv. zlomové body). [14]

Dvěma sousedními zlomovými body jsou vymezeny sekce, ve kterých je vypočtena hodnota průtoku. [14]

Součinitel změny průtočné plochy v sekci K_i [-] se vypočte dle níže uvedeného vztahu [14]:

$$K_i = \frac{1,486}{n_i} S_i R_i^{2/3}, \quad (3.12)$$

kde n_i je drsnost sekce [-], S_i je průtočná plocha sekce [m^2] a R_i je hydraulický poloměr sekce [m].

Průtok v sekci Q_{sekce} [m^3/s] se určí dle níže uvedeného vztahu [14]:

$$Q_{sekce} = K_i i_e^{\frac{1}{2}}, \quad (3.13)$$

kde i_e je sklon čáry energie [-].

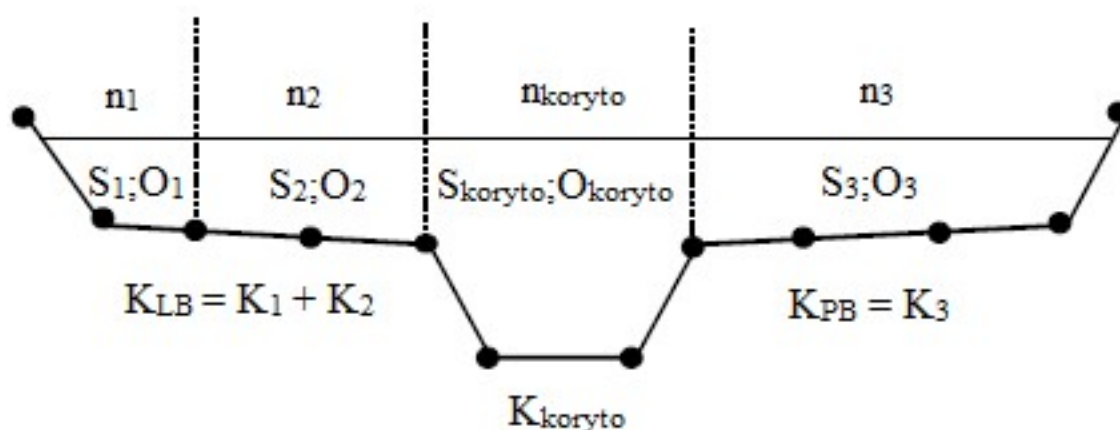
Součinitele změny průtočné plochy v sekcích K_i [-] jsou po výpočtu jednotlivých sekcí sečteny v příslušné oblasti. V oblasti od pravé břehové čáry do konce profilu se jedná o součinitel změny průtočné plochy za pravou břehovou čarou K_{PB} [-], v oblasti od levé břehové čáry do konce profilu se jedná o součinitel změny průtočné plochy za levou břehovou čarou K_{LB} [-]. [14]

Součinitel změny průtočné plochy koryta K_{koryto} [-] (tj. v oblasti mezi pravou a levou břehovou čarou) je vypočten jiným způsobem – váženým průměrem je vypočtena celková průměrná drsnost koryta n_{koryto} [-] (viz rovnice 3.14) a dle rovnice 3.12 na základě úvahy, že K_i [-] je rovno K_{koryto} [-], je součinitel dopočten. [14]

$$n_{koryto} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N O_i n_{ik}^{1,5}}{O_{koryto}} \right]^{2/3}, \quad (3.14)$$

kde O_i je omočený obvod, na kterém se nachází dílčí drsnost [m] a n_{ik} je dílčí drsnost [-], která je vymezená zlomovými body (viz výše).

Hodnota součinitele změny průtočné plochy pro daný příčný profil K [-] je součtem součinitelů změny průtočné plochy v oblasti za pravou břehovou čarou (K_{PB} [-]), v korytě (K_{koryto} [-]) a v oblasti za levou břehovou čarou (K_{LB} [-]), viz obr. 3.4. [14]



Obr. 3.4 – Princip rozdělení příčného profilu na sekce (překlad autor) [14]

4 ÚPRAVY TOKŮ

V současnosti se v oblasti úprav toků zvyšuje poptávka po revitalizaci koryt. V rámci kapitoly budou popsány:

- Renaturace
- Revitalizace
- Princip návrhu umělých a revitalizovaných koryt
- Přírodě blízká PPO a stabilizační prvky blízké přírodě
- Vegetační doprovod toků
- Prvky PPO

4.1 Renaturace

Renaturací je myšlen samovolný proces změny stavu koryta působením přírodních procesů, jako je zarůstání koryta vegetací (viz obr. 4.1), eroze dna a břehů, sedimentace erodovaných částic apod. Extrémním případem je renaturace povodňovou vlnou, při které dochází ke změnám stavu koryta za velmi krátkou dobu. [2]



Obr. 4.1 – Panorama renaturovaných břehů na VT Velička (foto autor)

4.2 Revitalizace

Revitalizace je cílené obnovení přírodě blízkého rázu koryta pomocí zásahů člověka (viz obr. 4.2). [2]

Snaha o nápravu negativních dopadů vybudovaných umělých koryt (viz kapitola 4.3.1) vede k provádění revitalizací (viz kapitola 4.3.2). [2]



Obr. 4.2 – Revitalizace stěhovavou kynetou na VT Velička (foto autor)

4.3 Umělá a revitalizovaná koryta

4.3.1 Umělá koryta

V minulosti se při návrhu koryt upřednostňovala koncepce co nejrychlejšího odtoku velkého objemu vody pryč z dané lokality (důvodem bylo plošné odvodňování zemědělských oblastí). [2]

Pro tento účel se navrhovala koryta, která měla mít co nejvíce prizmatický charakter (ve vztahu k revitalizovaným korytům lze prizmatické koryto chápat jako koryto s málo členitým tvarem příčného profilu, který je proveden na co nejdelších úsecích, se dnem a břehy provedenými z nepřírodních materiálů jako je např. beton). [2]

Tvar příčného profilu byl důsledně udržován na úkor přirozených tendencí přírody – byla odstraňována vegetace, nánosy atd. [2]

Typické využití takových koryt lze dnes najít pod významnými mostními konstrukcemi, kde je prizmatický charakter koryta žádoucí (viz obr. 4.3). [2]



Obr. 4.3 – Prizmatické koryto na VT Velička pod mostní konstrukcí (foto autor)

Princip technické úpravy koryta je následující [2]:

- **Napřímování trasy koryta** – v některých místech se napřímovaly velmi dlouhé úseky toku, které by jinak v přírodě přirozeně meandrovaly.
- **Zvýšení průtočné kapacity** – rozšiřování a zahlubování koryt a snižování drsnosti koryt.
- **Změna podélného sklonu koryta** – zavedení příkřejšího sklonu koryta.
- **Opevňování** – koryta musela být velmi odolná proti vymílání (např. opevněná betonem), jelikož proudění v nich dosahovalo vysokých rychlostí.

Tento přístup přinesl řadu negativních důsledků [2]:

- Území situovaná níže po toku byla zasažena silnějšími povodňovými vlnami – přitekla velký objem vody, který byl rychle odveden z výše položených území, kde nebyl transformován přirozenými rozlivy.
- Změny ve skladbě povrchu koryta (beton) a tudíž i vodním režimu v okolí toku ztížily, u některých druhů živočichů až znemožnily přežití v oblasti upravených koryt
- Samočistící schopnost vody se zhoršila – samočistící procesy potřebují co největší aktivní povrch koryta (tj. co největší drsnost), který se jim nedostával z důvodu snahy udělat koryto hydraulicky hladké (tzn. bez vegetačního pokryvu atd.), a co největší dobu doběhu, kterou napřímování trasy zkrátilo.

4.3.2 Revitalizovaná koryta

Navrhují se koryta méně široká, výhledově ideálně kopírující tvar široké mísy s nejprudšími sklony svahů do 1:3 (v praxi navrhován lichoběžník; k zaoblení do tvaru mísy dojde časem samovolně). Na rozdíl od technických koryt nejsou udržována nad nezbytnou mez. [2]



Obr. 4.4 – Meandrace koryta v retenčním prostoru poldru Žichlínek [17]

Princip revitalizace je následující [2]:

- **Volné meandrování** – ke korytu se připojí blízké okolní pozemky, které budou vyčleněny k meandraci (viz obr. 4.4). Skupování okolních pozemků je náročné, někdy nemožné. V praxi se tedy původní široké technicky upravené koryto zúží a k meandrování se použije ta část pozemku, která byla původně součástí koryta. Trasování by mělo být provedeno např. na základě historických map či přirozeného trasování podobných toků z okolí.
- **Snížení průtočné kapacity koryta v extravilánu** – průtoky, které přesahují kapacitu koryta, se rozlévají do přilehlých inundací v oblastech, kde rozliv nezpůsobuje žádné škody a průtok je transformován. Tím dochází k navrácení vody do pásma půdy, které bylo předtím vysušené. Toto řešení má několik úskalí – voda z povodní, která zaplaví okolní inundace, s sebou nese bahno, v horším případě chemikálie, splašky atd. Půda navíc nemusí vodu v požadované hloubce udržet, takže opět vyschne.
- **Změna podélného profilu koryta** – zavedení celkově mírnějšího sklonu koryta, přičemž se v korytě mohou střídát úseky s mírnějším a prudším sklonem dna. Tím jsou vytvořeny proudové a tišinné úseky, což je důležité pro živočichy. V proudových úsecích dochází k silnějšímu kontaktu vody s aktivním povrchem částic, v tišinných úsecích k usazování nečistot. To napomáhá samočištění vody.

- **Využití přírodních materiálů pro opevnění** – svahy by měly být tvořeny místní zeminou, která je zarostlá přirozenou vegetací. Stabilizace toku by měla být provedena působením vegetace (drn, kořeny stromů apod.), což není v praxi vždy dostačující, a proto se používají prvky z přírodních materiálů jako je dřevo, kamenivo apod.

K revitalizaci toku se musí vždy přistupovat individuálně na základě charakteru upravovaného úseku a je nutno navrhovat ji jenom tam, kde je to opodstatněné (např. nemá smysl revitalizovat koryto, které je v minulosti technicky upravené jen proto, že vyvolává špatný estetický dojem. Provedení revitalizace by vyhnalo či vyhubilo většinu organismů, které se životním podmínkám v daném úseku přizpůsobily).

4.4 Přírodě blízká PPO

Přírodě blízkou PPO se myslí taková opatření, která nemají primárně za úkol revitalizovat koryto (tj. navrátit mu jeho přírodě blízký ráz), ale i tak se snaží minimalizovat zásahy do krajiny, které jsou jimi vyvolány.

Jedná se např. o změnu tvaru koryta a stabilizaci svahů dřevěnými či kamennými prvky, výstavbu protipovodňových zdí s kamenným obkladem aj. Beton a jiné umělé materiály se používají pouze v míře nezbytně nutné.

Kapitoly 4.4.1 a 4.4.2 obsahují stručný výčet a popis některých základních prvků používaných pro stabilizaci dna a břehů koryta při provádění přírodě blízké PPO.

4.4.1 Podélné stabilizační prvky blízké přírodě

Podélné stabilizační prvky slouží k ochraně břehů koryta před erozí.

Nejběžnější podélné stabilizační prvky jsou [2]:

- **Kamenný pohoz** – stabilizační prvek skládající se z volně pohozených kamenů (viz obr. 4.5).



Obr. 4.5 – Pohoz z lomového kamene [18]

- **Kamenný zához** – od kamenného pohozu se liší tím, že jsou kameny zapuštěny do dna či svahu (viz obr. 4.6). Stabilizuje se jím pata svahu.



Obr. 4.6 – Provádění záhozu z lomového kamene [19]

- **Kamenná rovnanina** – na rozdíl od pohozu nebo záhozu je kamenivo ručně prokládané menšími kameny, tudíž lépe provázané (viz obr. 4.7).



Obr. 4.7 – Kamenná rovnanina [20]

- **Kamenný obklad** – vůči vymílání velmi odolný prvek používaný v místech s předpokládaným zvýšeným mechanickým namáháním (křídla jezu atd., viz obr 4.8).



Obr. 4.8 – Kamenný obklad pod mostní konstrukcí na VT Velička (foto autor)

- **Gabiony** – kamenivo uložené v drátových klecích (viz obr. 4.9). Výhodou je průtočnost prvku, díky které není narušen režim proudění mezi vodou v korytě a podzemní vodou.



Obr. 4.9 – Gabiony (levý břeh) na VT Velička (foto autor)

4.4.2 Příčné stabilizační prvky blízké přírodě

Příčné stabilizační prvky slouží k ochraně dna před erozí. Příčná stabilizace je prováděna pomocí prahů, což jsou prvky zcela či z velké části (maximálně cca 0,3 m) zapuštěné ve dně. V případě, že je třeba změnit podélný sklon koryta, mohou tuto funkci plnit i stupně (které zpravidla vystupují více než 0,3 m nad úroveň dna). [3]

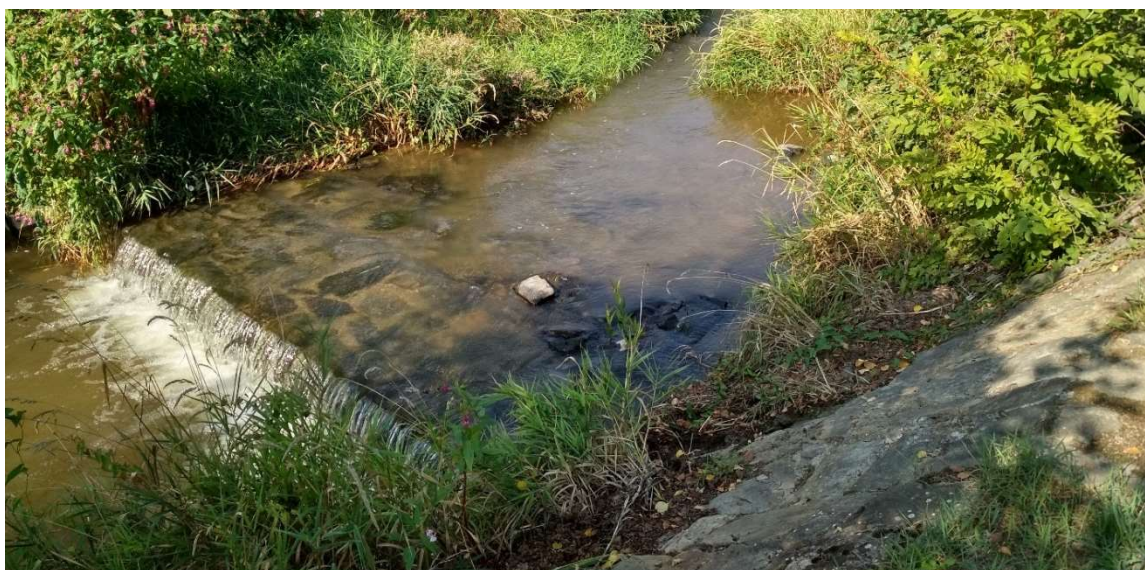
Nejběžnější příčné stabilizační prvky jsou [2]:

- **Dřevěný práh/stupeň** – dřevěná kulatina částečně či zcela uložená ve dně, která je dostatečně příčně zapuštěná do břehů nebo stabilizovaná piloty (viz obr. 4.10).



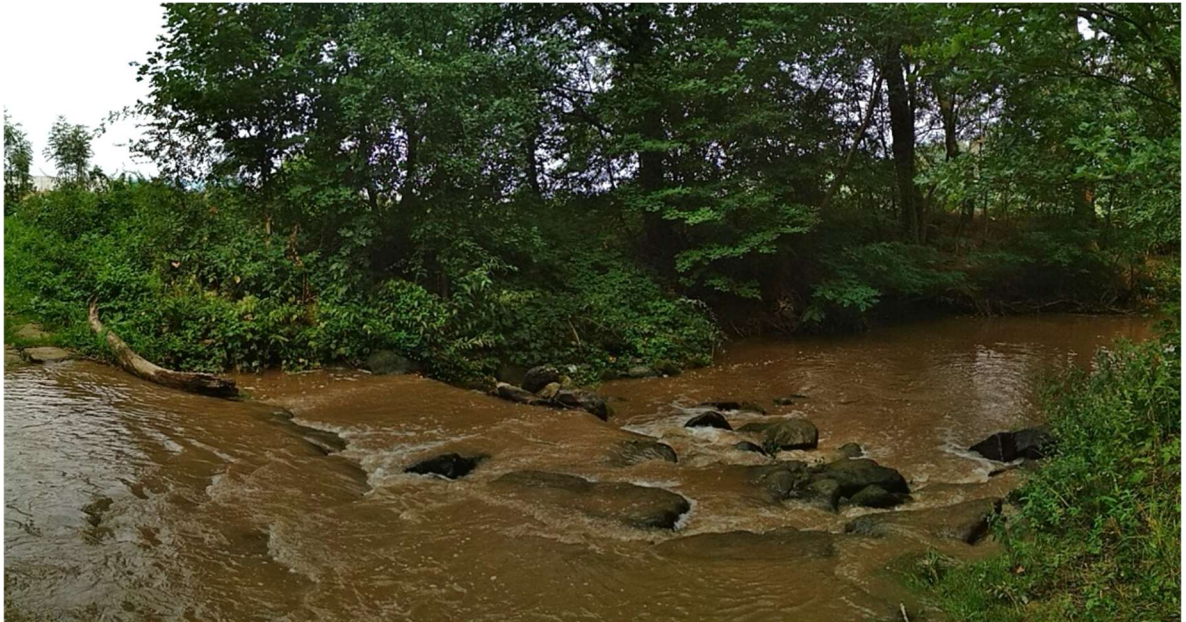
Obr. 4.10 – Dřevěný stupeň na VT Velička (foto autor)

- **Kamenný práh/stupeň** – kameny částečně nebo zcela zapuštěné ve dně (viz obr. 4.11).



Obr. 4.11 – Kamenný stupeň na VT Velička (foto autor)

- **Kamenné nebo balvanité skluzy** – kameny nebo balvany částečně zapuštěné do dna na úseku, který směrem po proudu zvyšuje podélný sklon dna (viz obr. 4.12). Dají se použít i jako stavební prvek vývaru podjezí.



Obr. 4.12 – Kamenný skluz na VT Velička (foto autor)

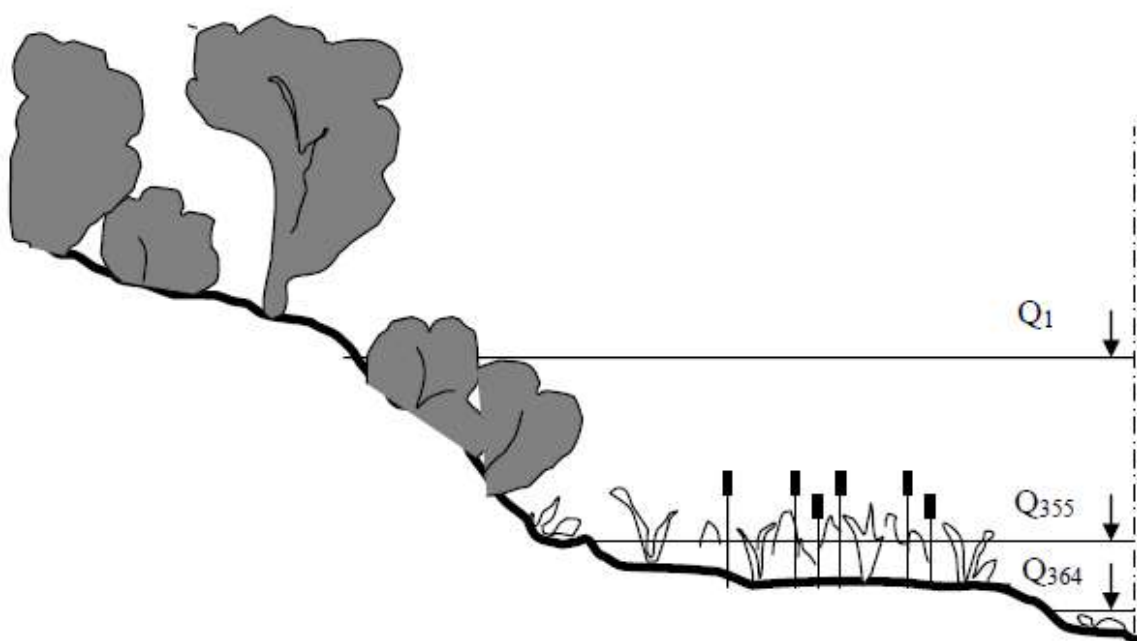
4.5 Vegetační doprovod toků

Vegetace v okolí toku slouží především jako stabilizační prvek a útočiště živočichů. [2]

Výškové umístění vegetace na březích toků je závislé na úrovni hladiny při n-letých a m-denních průtocích. [4]

Na základě m-denních průtoků lze různé výškové úrovně umístění vegetace rozdělit do čtyř pásem (viz obr. 4.13) [5]:

- **Supralitorální pásmo** – vegetace roste nad úrovní hladiny odpovídající Q_1 . Pásmo je zřídka zaplavované a rostou v něm tzv. tvrdé dřeviny (stromy) a travnaté porosty.
- **Eulitorální pásmo** – vegetace roste mezi úrovněmi hladiny Q_1 a Q_{355} . Pásmo je zaplavované a rostou v něm tzv. měkké dřeviny (keře, případně nízké stromy) a travnaté porosty.
- **Sublitorální pásmo** – vegetace roste mezi úrovněmi hladiny Q_{355} a Q_{364} . Pásmo je často zaplavované a rostou v něm bažinné rostliny a rákosy.
- **Profundální pásmo** – vegetace roste pod úrovní hladiny odpovídající Q_{364} .



Obr. 4.13 – Schéma výškového umístění břehové vegetace vzhledem k vodním stavům [4]

Pásma by se měla při návrhu vegetačního doprovodu toku respektovat a nejlépe konzultovat s příslušnými odborníky, jinak hrozí vyhynutí případné výsadby. [2]

4.6 Prvky PPO

V této kapitole jsou popsány prvky revitalizační a prvky PPO blízké přírodě bez rozlišení, jelikož se tyto dvě skupiny často prolínají.

4.6.1 Mrtvá ramena

Mrtvá ramena (viz obr. 4.14) jsou buďto bývalé úseky toku, které byly od toku odděleny postupnou meandrací (renaturace), nebo člověkem vytvořené umělé terénní prohlubně mimo hlavní koryto toku (revitalizace). Jsou významná pro vodní živočichy, ptactvo a hmyz. [2]

Mrtvé rameno může mít charakter tůň (tj. je stále zatopené, viz kapitola 4.6.2) nebo průlehu (zatopí se pouze při překročení kapacity vodního toku, u kterého se nachází). [2]

- **Renaturací vytvořené mrtvé rameno** – upraví se tak, že se vyčistí od přebytečných objektů, které by při povodních mohly způsobit snížení kapacity průtočného profilu (kmeny stromů atd.), případně se zahlubí a zpevní, aby jeho kapacita odpovídala požadavkům průtočné kapacity a stability koryta. [2]
- **Člověkem vytvořené mrtvé rameno** – navrhne se nejlépe na základě historických map. Rozdíl oproti renaturací vytvořenému mrtvému ramenu je nutnost vytvořit terénní prohlubeň uměle. [2]



Obr. 4.14 – Čičovské mrtvé rameno na slovenském Dunaji [21]

4.6.2 Tůň

Tůň je zatopená nevypustitelná terénní prohlubeň (viz obr. 4.15). Hlavním důvodem budování tůní je zvyšování retenční kapacity toku nebo přilehlého území. [2]

Pokud je tůň protékaná, může sloužit jako prostor pro ukládání sedimentů a tišina pro živočichy, ovšem neprotékané tůně jsou jako tišina vhodnější. [2]

Tůně mohou být napájeny přímo z koryta nebo hladinou podzemní vody. [2]



Obr. 4.15 – Tůň [22]

4.6.3 Inundace

Území za břehovými čarami, které je při povodni zaplavováno, se nazývá inundací (viz obr. 4.16).

Nejčastěji se inundace nachází na loukách nebo polích a v lesích.

Inundace v polích není žádoucí vzhledem ke škodám, které může průchozí povodeň způsobit na pěstovaných plodinách.



Obr. 4.16 – Inundace na VT Velička (foto autor)

4.6.4 Protipovodňové parky

Protipovodňové parky jsou tůň nebo inundace záměrně navržené k dalšímu využití člověkem, nejčastěji jako rekreační či sportovní lokality (viz obr. 4.17).



Obr. 4.17 – Protipovodňový park v Bangkoku [23]

4.6.5 Poldry

Poldry (viz obr. 4.4 a 4.18) jsou nádrže, jejichž jediným účelem je transformace povodňové vlny pomocí plnění retenčního prostoru (na rozdíl od velkých přehradních nádrží, které jsou navrhovány pro plnění více účelů). Mají spodní výpusti a bezpečností přeliv.

Poldry se dělí na suché a polosuché. V suchých poldrech neexistuje prostor stálého nadržení, v polosuchých ano.

V oblasti retenčního prostoru poldrů lze koryto revitalizovat (mrtvá ramena, tůň atd.).

Prostor stálého nadržení polosuchých poldrů sám funguje jako přirozená nádrž, kterou využívají okolní živočichové. To může mít za důsledek zvýšený výskyt komárů v okolí. [2]

Výhodou poldrů je, že obvykle zabírají méně prostoru než PPO, která by se v okolí toku musela navrhnut, kdyby tok nebyl chráněn poldrem.



Obr. 4.18 – Vizualizace poldru Lhotka na VT Velička (pohled protiproudě) [24]

4.6.6 Zemní valy

Zemní valy jsou ochranné zemní hráze, které zabraňují rozlití vody mimo určené území (viz obr. 4.19). [7]

Koruna zemních valů by měla být převýšena nad úrovní hladiny návrhového průtoku. Při návrhovém průtoku nižším než Q_{100} se doporučuje převýšení do 0,5 m, při ochraně na Q_{100} se doporučuje převýšení od 0,3 do 1 m. [7]

Materiál valů je volen dle struktury (homogenní nebo s těsnícím jádrem), sklon vzdušního a návodního líce se odvíjí od zvoleného materiálu. [7]

Šířka koruny valů by měla být minimálně taková, aby se na ni mohla bez problému pohybovat technika používaná při jejich údržbě. [7]

Na koruně valu se může nacházet trasa pro pěší nebo cyklistická stezka, u větších valů i silniční komunikace. [7]

V zahrází (tj. v oblasti, která je valem chráněna před vodou v korytě) musí být vyřešen odtok vod, které se v něm vyskytují (např. z dešťových srážek). [7]



Obr. 4.19 – Zemní hráz u Napajedel [25]

4.6.7 Protipovodňová zeď

V úsecích, kde je nutno ochránit stávající zástavbu bez možnosti zvýšit šířku koryta, se pro ochranu používají protipovodňové zdi, taktéž označované jako protipovodňové stěny (viz obr. 4.20). [7]

Jejich konstrukce je odvislá od průtokových, geologických a hydrogeologický poměrů v toku a zatížení. Založení se provádí např. štetovými stěnami. [7]

Režim proudění podzemních vod je nutno brát v úvahu a navrhnout řešení (drenáž, otvory v podzemní části zdi atd.). [7]

Vody v zahradě musí být odvedeny. [7]

Na korunu stěn mohou být umístěny drážky na mobilní hrazení (viz. kapitola 4.6.8).



Obr. 4.20 – Protipovodňová stěna na Hodkovském potoce [26]

4.6.8 Mobilní hrazení

V místech, kde není možné nebo vhodné trvalé umístění zemních valů či protipovodňových zdí (např. na mostních konstrukcích křížících tok, které jsou při povodni přetékané nebo na místech, kde by protipovodňové zdi byly moc vysoké) se umísťuje mobilní hrazení (viz obr. 4.21).

Nevýhodou mobilního hrazení je nutnost jeho skladování, revize a jeho včasné instalace před příchodem povodně.



Obr. 4.21 – Zkouška mobilního hrazení na silniční komunikaci v Ústí nad Labem [27]

5 VSTUPNÍ PODKLADY

- [A] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://mapy.cz>
- [B] Povodí Moravy, s.p. *Velička_profily*. 2010, vodní tok Velička (ústí do Bečvy). Formát DWG
- [C] *Portál ČHMÚ* [online]. [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>
- [D] *Lokalizační a mapová aplikace – Česká geologická služba* [online]. [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/>
- [E] Urbanistické středisko Ostrava, s.r.o. *Územní plán Hranic, úplné znění po změně č. 2, I.B.b1) Hlavní výkres*. 2019, Hranice. Formát PDF
- [F] Povodí Moravy, s.p. *Podélný profil Veličky km 0,000 – 2,992*. 2010, vodní tok Velička (ústí do Bečvy). Formát DWG
- [G] Povodí Moravy, s.p. *Podélný profil Veličky km 2,967 – 9,264*. 2010, vodní tok Velička (ústí do Bečvy). Formát DWG
- [H] Povodí Moravy, s.p. *Příčné profily č. 1-82*. 2010, vodní tok Velička (ústí do Bečvy). Formát DWG
- [I] Povodí Moravy, s.p. *Příčné profily č. 81-155*. 2010, vodní tok Velička (ústí do Bečvy). Formát DWG
- [J] SMELÍK, Ing. Lukáš, Ing. Hana UHMANNOVÁ, CSc. a Ing. Lucie FOLTÝNOVÁ. *Katalog drsností* [online]. [cit. 2019-05-15].
- [K] ČÚZK: *Geoportál* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(yuqvmpkjl5toclzgy0ef0lp\)\)/Default.aspx?head_tab=sekce-00-gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes](https://geoportal.cuzk.cz/(S(yuqvmpkjl5toclzgy0ef0lp))/Default.aspx?head_tab=sekce-00-gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes)
- [L] Databáze DIBAVOD, *A02 – vodní tok (jemné úseky)*. Formát SHP
- [M] Databáze DIBAVOD, *D03 – záplavová území stoleté vody*. Formát SHP
- [N] *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. 2009.
- [O] Regioprojekt Brno, s. r. o. *Litava II – přírodě blízká protipovodňová opatření – PPO Hrušky*. Oznámení záměru. Aquatis a.s. 2019.
- [P] MILERSKI, Rudolf, Jan MIČÍN a Jaroslav VESELÝ. *Vodohospodářské stavby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-759-8.
- [Q] *Místní šetření na vodním toku Velička (ústí do Bečvy)*, 4.9.2018.
- [R] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace*. In: Sbírka zákonů. 2018, číslo 79.

- [S] Český úřad zeměměřický a katastrální. *Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)*. Formát TIFF
- [T] AgPOL s.r.o. *B.2 – Mapa odtokových poměrů – ovlivnění SN*. 2018. Formát PDF

6 POPIS LOKALITY

6.1 Správní údaje

Řešený úsek vodního toku Velička (ústící do Bečvy, dále už jen Velička) se nachází v Olomouckém kraji v okrese Přerov a z velké části se nalézají na území obce s rozšířenou působností Hranice. Cca 160 m tohoto úseku se nachází na území obce Olšovec. [6, A]

Protékaný intravilán, který je třeba ochránit před povodní, se nachází na území místních částí Hranic Hranice I-Město, Hranice III-Velká a Hranice II-Lhotka. [6, A]

Samotný vodní tok Velička je pravobřežním přítokem řeky Bečvy. Řešený úsek se nachází mezi 2,063-6,202 ř. km a je 4139 m dlouhý. [B]

Pro lepší představu o Veličce viz přílohy B.1 a B.2.

6.2 Klimatické údaje

Průměrná roční teplota vzduchu je 8 °C (data z období 1981-2010). Průměrný úhrn srážek je 550 mm (období 1981-2010). Nejbližší meteorologickou stanicí je Běloutín (ozn. 01BELO01), spadající pod pobočku ČHMÚ Ostrava. [C]

6.3 Geologické poměry

V okolí toku se vyskytují nivní sedimenty – převážně fluviozemě modální, u dálničního mostu (ř. km 3,969) fluviozem glejová. Složení půdy jsou šterky, hlíny a písky s příměsí jemnozrnných částic. [D]

6.4 Využití území

V oblasti intravilánu Hranice I-Město se nachází zahrádkářská osada a dopravní silniční infrastruktura. V intravilánu Hranice III-Velká převládá využití území pro bydlení a nachází se v něm dopravní silniční infrastruktura. V intravilánu Hranice II-Lhotka také převládá využití území pro bydlení a rovněž se v něm nachází dopravní silniční infrastruktura. V extravilánu celého upravovaného úseku se nachází plochy přírodní, zemědělské a lesní a dopravní silniční infrastruktura. Samotné koryto toku je využíváno jako plocha vodní a vodohospodářská. [E]

7 CHARAKTERISTIKA TOKU

7.1 Objekty

Na toku se nachází velké množství stupňů ve dně, je křížen několika mostními konstrukcemi a jsou do něj zaústěny výpusti (viz tab. 7.1). [F, G]

Výpusti, které významně neovlivnily průtok v toku, nebyly při modelování brány v úvahu, tudíž nejsou v tabulce objektů uvedeny. [F, G]

Tab. 7.1 – Tabulka objektů [F, G]

Staničení [km]	Příčný profil	Objekt
1,755	59	Stupeň
1,855	63	Stupeň
1,935	66	Stupeň
1,953	67	Most
1,982	68	Viadukt
2,203	70	Stupeň
2,301	71	Stupeň
2,504	74	Stupeň
2,748	76	Stupeň
2,852	77	Stupeň
2,862	78	Stupeň
2,930	80	Stupeň
2,984	82	Most
3,200	90	Stupeň
3,321	93	Stupeň
3,360	-	DN400
3,387	95	Most
3,490	96	Lávka
3,969	100	Dálniční most
4,013	-	Stupeň
4,075	103	Stupeň
5,490	114	Lávka
5,849	119	Most
6,011	125	Most

Zaznačení objektů viz příloha B.2.

7.2 Opevnění

Údaje v této kapitole jsou založeny na místním šetření upravovaného úseku provedeném autorem 4.9.2018. [Q]

Opevnění se po celé délce toku mění.

Dno mimo oblast vývarů stupňů a profilů mostních konstrukcí je jak v extravilánu, tak v intravilánu neopevňováno a erodováno. Erodované částice poté sedimentují směrem dolů po proudu v úsecích s nižší unášecí rychlostí nebo v nadjezích stupňů. [F, G]

V intravilánu i v extravilánu v oblasti vývarů pod kamennými stupni (viz obr. 7.1) je dno zpevňováno kamenným pohozem či záhozem záhozem dle potřeby kombinovaným s kamennými patkami, u dřevěných stupňů jsou použity dřevěné kulatiny. U vývarů betonových stupňů a úseků pod mostními profily jsou použity betonové panely nebo monolitické betonové prvky s kamenným obkladem.

Svahy v intravilánu jsou opevněny ohumusováním a osetím, více namáhané úseky kamenným obkladem. Svah pravého břehu v úseku 5,849-5,948 ř. km je opevněn gabiony (viz obr. 4.9).

Svahy v extravilánu jsou také opevňovány ohumusováním a osetím, v oblasti vývarů pod stupni jsou stabilizovány kamennou patkou dle potřeby kombinovanou s kamenným pohozem nebo záhozem.



Obr. 7.1 – Stabilizace svahů vývaru pod kamenným stupněm na VT Velička (foto autor)

7.3 Vegetace

Údaje v této kapitole jsou založeny na místním šetření upravovaného úseku provedeném autorem 4.9.2018. [Q]

Vegetace v intravilánu je až na pár úseků neudržovaná (viz obr. 7.2), dochází i k vrůstání větví keřů a stromů do průtočného profilu. V intravilánu Hranice III-Velká se v úseku 2,992-3,200 ř. km se v korytě nachází stěhovavá kyneta (viz obr. 4.2).



Obr. 7.2 – Neudržované koryto VT Velička v intravilánu (foto autor)

Vegetace v extravilánu není je málo až vůbec udržovaná (viz obr. 7.3), v extrémních případech dochází i k růstu vegetace na dně koryta.

Území v extravilánu jsou udržována v oblastech obdělávaných zemědělských ploch. Louky a lesní plochy jsou málo nebo vůbec udržovány.



Obr. 7.3 – Koryto VT Velička v extravilánu zarůstající vegetací (foto autor)

8 HYDRAULICKÝ MODEL

8.1 Použité software

8.1.1 Autodesk CIVIL 3D

Autodesk CIVIL 3D je software používaný pro projektování (především liniových) staveb. [8]

Byla použita verze Autodesk CIVIL 3D 2018 s doplňkem BIMTech Tools [9], který umožňuje přidání výřezu katastrální mapy ČR do projektu v Autodesk CIVIL 3D jako objektu (tzn. mapu lze upravovat) a doplňkem click2xls [16], který umožňuje kliknutím myši převádět souřadnice kurzoru v Autodesk CIVIL 3D do Microsoft Office Excel.

Autodesk CIVIL 3D byl použit pro tvorbu souborů a výkresů, které využívaly mapových podkladů zpracovaných v QGISu.

8.1.2 QGIS a ArcGIS

QGIS a ArcGIS jsou softwary na bázi GIS (geografického informačního systému), ve kterých lze tvořit, upravovat a analyzovat geografická data a mapové podklady. [10, 11]

Pro tvorbu map byl používán QGIS 2.16.3 a QGIS 3.6.2, ArcGIS byl použit pouze pro tvorbu souboru výřezu z digitálního modelu terénu (dále jen DMT) z digitálního modelu reliéfu DMR 5G [S].

8.1.3 Microsoft Office Excel

Microsoft Office Excel je program používaný pro tvorbu tabulek, grafů, výpočetních algoritmů a analýzu dat. [12]

Byla použita verze, která je obsažena ve studentům zdarma dostupném balíčku programů Microsoft Office 365.

Microsoft Office Excel byl použit jako převodník dat příčných profilů z formátu DWG do textové podoby, která umožňuje vykreslení příčných profilů v HEC-RASu. Dalším využitím byla analýza výstupních dat z HEC-RASu, tvorba tabulek a tvorba grafů.

8.1.4 HEC-RAS

HEC-RAS je software vyvinutý US Army Corps of Engineers, používaný k 1D a 2D modelování proudění vody. [13]

Byla použita verze HEC-RAS 5.0.6.

8.2 Předpoklady řešení, schematizace

Výpočet proudění v modelu byl proveden pro říční ustálené nerovnoměrné proudění v 1D.

Základní předpoklady řešení a schematizační postupy jsou uvedeny níže [A, B, F, G, H, I, K, T, S, Q]:

- **Doplnění geometrických dat toku** – geodetické zaměření příčných profilů na toku je zastaralé (rok 2010) a pro účely modelování nedostatečné – u objektů bývá zaměřen pouze horní profil, i když pro modelování v HEC-RASu je potřeba i spodní profil. Skluzы nejsou zaměřeny vůbec. Zaměření profilů po délce toku není dostatečné, takže mezi známými profily byly vytvořeny interpolované profily funkce v programu HEC-RAS.
Profily potřebné pro výpočet proudění objekty byly vytvořeny zkopírováním nejbližšího podobného příčného profilu a změnou jeho podélného a výškového umístění.
- **Změna umístění přítoků** – přítoky byly zadány formou bodového přítoku do nejbližšího spodního příčného profilu místo toho, aby měly přesnou kilometráž.
- **Zjednodušení objektů viaduktů** – Hranické viadukty (ř. km 1,956) jsou uvažovány jako jedna mostní konstrukce (ve skutečnosti se jedná o 2 viadukty, které jsou situovány kolmo k toku cca 3 až 5 metrů od sebe).
- **Odhad šířky přepadových hran objektů** – v případě stupňů byly šířky korun objektů odhadnuty (dle fotografií z místního šetření), u mostů byly šířky mostovek odměřeny z ortofotografické mapy.
- **Rovnost vzdáleností bodů osy a vzdálenosti bodů břehových čar mezi dvěma sousedními příčnými profily** – vzdálenosti bodů osy a vzdálenosti bodů břehových čar mezi dvěma sousedními profily jsou si v modelu vždy rovny, i když ve skutečnosti (především v obloucích) tomu tak není.
- **Použití funkce levees pro určení průtoku v inundacích** – v HEC-RASu vytvořený 1D model uvažuje, že zadaný příčný profil je profil koryta složený z kynety a berem, přičemž jejich rozhraní je vymezeno umístěním bodů břehových čar. V daném příčném profilu se proto průtok přerozděluje do koryt a berem (v upravovaném úseku častěji spíše inundací) a příčný profil se plní odspodu, což, pokud je inundace v nižší nadmořské výšce, než je koryto toku, má za následek stav, kdy je v inundaci soustředěna velká část průtoku v příčném profilu, zatímco v korytě skoro žádná voda neteče.
To lze korigovat použitím funkce levees v programu HEC-RAS.
- **Hydraulické zjednodušení přítoků** – přítoky byly zadávány jako bodové přítoky, tzn. v modelu se projevují pouze změnou velikosti průtoku, i když v realitě mohou mít na průběh proudění i jiný vliv.
- **Říční režim výpočtu** – model byl vypočten v říčním režimu proudění, což znamená, že úroveň hladiny v profilu nemohla být nikdy nižší, než je kritická hloubka.

- **Neaktuálnost a kombinace hydrologických dat** – hydrologická data od PMO nejsou aktuální (rok 2010). Firma AgPOL s.r.o. navíc při návrhu soustavy poldrů používala data od ČHMÚ, která jsou od dat z podélných profilů PMO výrazně odlišná. Data byla zkombinována způsobem uvedeným v tab. 8.3 a v kapitole 12.
- **Odchylka při kalibraci** – jako podklady pro kalibraci byly použity úrovně hladiny Q_{100} zakreslené v podélných profilech od PMO. Úroveň hladiny v modelu se i tak liší (viz kapitola 8.5).
- **Nepostihnutelné faktory** – žádný model přesně nepostihuje skutečnost. V úsecích, kde nebyla jiná možnost, byly tyto nepostihnutelné faktory kompenzovány změnou hodnoty drsnosti tak, aby model odpovídal kalibračním podkladům.

8.3 Okrajové podmínky

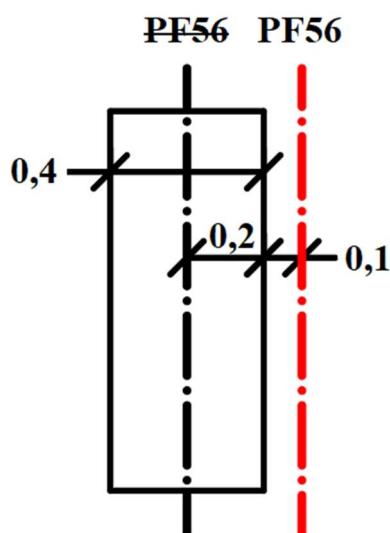
8.3.1 Sklon dna

Okrajová podmínka sklonu dna se zadávala do nejspodnějšího vymodelovaného profilu, jelikož byl model vypočten v říčním režimu proudění. Jedná se o sklon dna mezi osou profilu č. 56 (původně ř. km 1,676) a osou profilu č. 57 (ř. km 1,692). [F, G, H, I]

Hodnota okrajové podmínky sklonu dna je 0,09554 [-].

Řešený úsek začíná na 2,063 ř. km, nicméně při hledání vhodné okrajové podmínky bylo zjištěno, že je nutno koryto v modelu prodloužit ještě o neřešený, pouze pro kalibraci potřebný úsek (tj. neřešený úsek).

Neřešený úsek je situován mezi ř. km 1,6763-2,063. Nejsou pro něj vykresleny rozlivy ani navrhována PPO. Profil č. 56 musel být posunut směrem nahoru protiproudě, jelikož uváděná kilometráž (ř. km 1,676) platí pro osu stupně, který se směrem poproudě pod profilem nachází.



Obr. 8.1 – Schéma přemístění profilu č. 56 nahoru proti proudu (autor)

Profil č. 56 byl posunut protiproudě o 0,3 m. Hodnota 0,3 metru byla odvozena z šířky koruny stupně (0,4 m) a vzdálenosti konce koruny stupně od příčného profilu nad stupněm (která je u všech příčných profilů nad stupni v modelu 0,1 m). Přehledné schéma viz obr. 8.1. Kilometráž pro profil č. 56 použitá pro výpočet okrajové podmínky je tedy 1,6763 ř. km (viz tab. 8.1). [H]

Tab. 8.1 – Údaje pro výpočet okrajové podmínky sklonu dna [H]

Příčný profil	Staničení [km]	Osa koryta [m n. m.]
56	1,6763	253,37
57	1,692	254,87

8.3.2 Hydrologická data

Byly použity 2 sady hydrologických dat. První sada dat, pocházející od Povodí Moravy, s.p. (dále jen PMO; viz tab. 8.2), byla použita pro kalibraci modelu a vykreslení rozlivů pro stávající stav a variantu 1. Druhá sada, tj. kombinace dat od PMO a dat o transformaci poldrem Lhotka (viz. tab. 8.3), byla použita pro vykreslení rozlivů pro variantu 2. [F, G, T]

Tab. 8.2 – Hydrologická data od PMO [F, G]

Zdroj	Velička	Mraznice	Vyústění DN400	Bezejmenný přítok
m [roky]	Průtok [m ³ /s]			
1	7,9	0,9	0,3	0,2
5	23,68	1,82	0,5	0,3
10	30,5	2,2	0,6	0,3
20	39,5	4,1	1,1	0,9
50	49,8	5,2	1,4	1,1
100	57,9	6	1,6	1,3

Tab. 8.3 – Hydrologická data od PMO v kombinaci s poldrem Lhotka [F, G, T]

Zdroj	Velička (poldr)	Mraznice	Vyústění DN400	Bezejmenný přítok
m [roky]	Průtok [m ³ /s]			
1	5,27	0,9	0,3	0,2
5	7,24	1,82	0,5	0,3
10	7,94	2,2	0,6	0,3
20	8,6	4,1	1,1	0,9
50	9,4	5,2	1,4	1,1
100	9,98	6	1,6	1,3

8.4 Geometrická data a jejich úprava

Z dat dostupných na WMS serverech ČÚZK [K] byl v programu QGIS vytvořen rastrový výřez ortofotografické mapy se zachovanými údaji o umístění výřezu v S-JTSK.

Ze stránek DIBAVOD byl stažen soubor s osami toků [L]. Soubor byl otevřen v programu Autodesk CIVIL 3D 2018 a data byla podložena výše zmíněnou ortofotografickou mapou, podle které byl tvar osy upraven.

Do souboru s osami a ortofotografickou mapou bylo vloženo půdorysné umístění zaměřených profilů Veličky od PMO [B]. Celý tento nový soubor byl uložen ve formátu DXF a převeden do formátu SHP.

Verze ve formátu SHP byla nahrána pomocí prostředí RAS Mapperu do programu HEC-RAS. Tímto byla do programu vložena osa toku.

Geometrická data příčných profilů Veličky [H, I] byla v programu Autodesk CIVIL 3D 2018 doplňkem click2xls transformována z grafické podoby (formát DWG) do Microsoft Office Excel jako data souřadnic ve tvaru délka-výška (formát souboru XLSX).

Při transformaci dat z DWG do XLSX bylo dle fotodokumentace z místního šetření [Q], ortofotografické mapy, Základní mapy ČR 1:10 000 (převzaté opět z WMS serverů ČÚZK [K]) a mapy záplavových území stoleté vody [M] nahrané do souboru s osami toků vytvořeného na začátku, kontrolováno, zda nejsou příčné profily obráceny (levý břeh na pravé straně nebo pravý břeh na levé straně). Případné obrácení příčných profilů bylo opraveno.

Poté byl soubor se souřadnicemi ve tvaru délka-výška převeden z formátu XLSX do formátu CSV a následně nahrán do programu HEC-RAS 5.0.6 prostřednictvím editoru geometrických dat. Tímto byly do programu vloženy příčné profily.

V programu ArcGIS byl z DMR 5G [S] vytvořen výřez digitálního modelu terénu (tj. DMT), který byl následně nahrán do programu HEC-RAS. Tímto byl do programu vložen DMT.

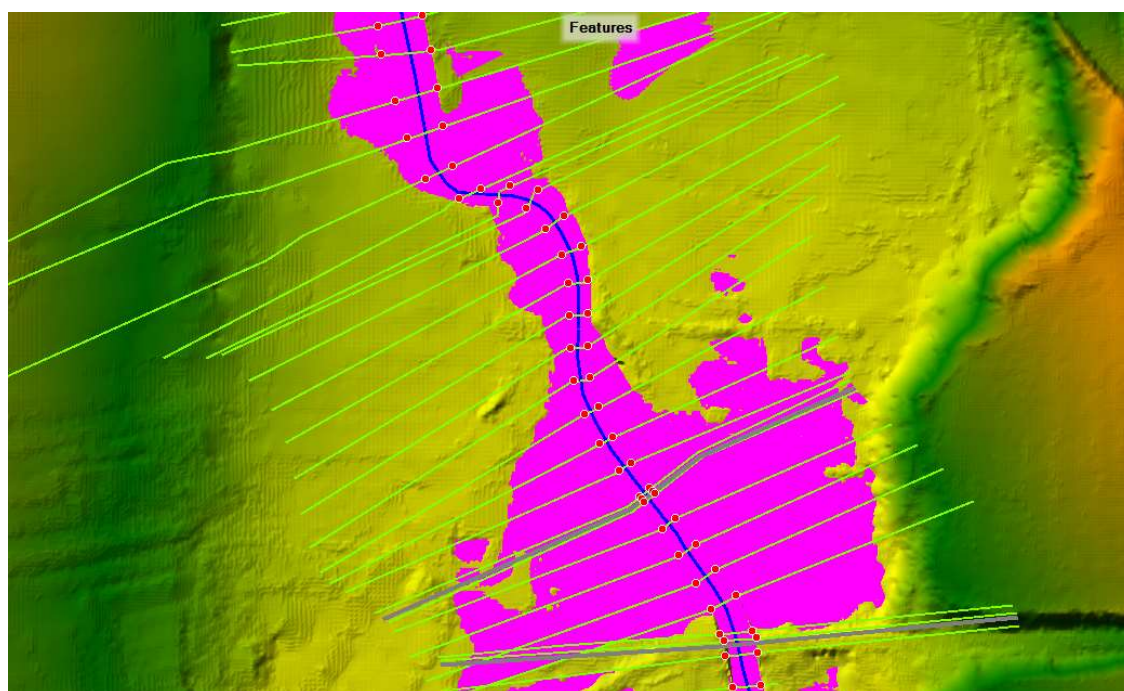
Vložené příčné profily se zobrazily na ose toku v odpovídajících vzdálenostech, což ovšem neodpovídalo jejich umístění na ortofotografické mapě. V RAS Mapperu bylo jejich umístění změněno tak, aby se nacházely na místě, kde je zaměřilo PMO. Kontrola umístění byla provedena s přihlédnutím k DMT (viz tenká šedá čára na obr. 8.3).

K příčným profilům byly doplněny drsnosti dle tabulky 8.4. Při vytváření tabulky bylo přihlédnuto ke katalogu drsností [J], fotografiím z místního šetření [Q] a údajům ze studijní opory hydrauliky [1]. Hodnoty uvažují s neudržováním koryta.

Tab. 8.4 – Hodnoty drsností použité v modelu [Q, J, 1]

Břehy	Drsnost [-]
Tráva vysoká, neudržovaná/obilí	0,040-0,060
Pole	0,040-0,060
Stěhovavá kyneta/zarůstání koryta	0,040-0,060
Keřiky/kukuřice	0,055-0,065
Keře/málo stromů	0,070-0,075
Husté keře/stromy	0,080
Asfalt	0,02-0,025
Beton/kamenný obklad	0,035-0,045
Silnice	0,030-0,040
Polní cesta	0,035-0,045
Budova	0,6-1,0
Dno	Drsnost [-]
Oblázky	0,030-0,040
Balvany místně/vývary	0,035-0,045
Skluzy	0,035-0,045

V editoru geometrických dat bylo vytočení příčných profilů od osy toku upraveno tak, aby byly kolmé na směr proudění (viz obr. 8.2).



Obr. 8.2 – Profily jsou kolmé na směr proudění (autor)

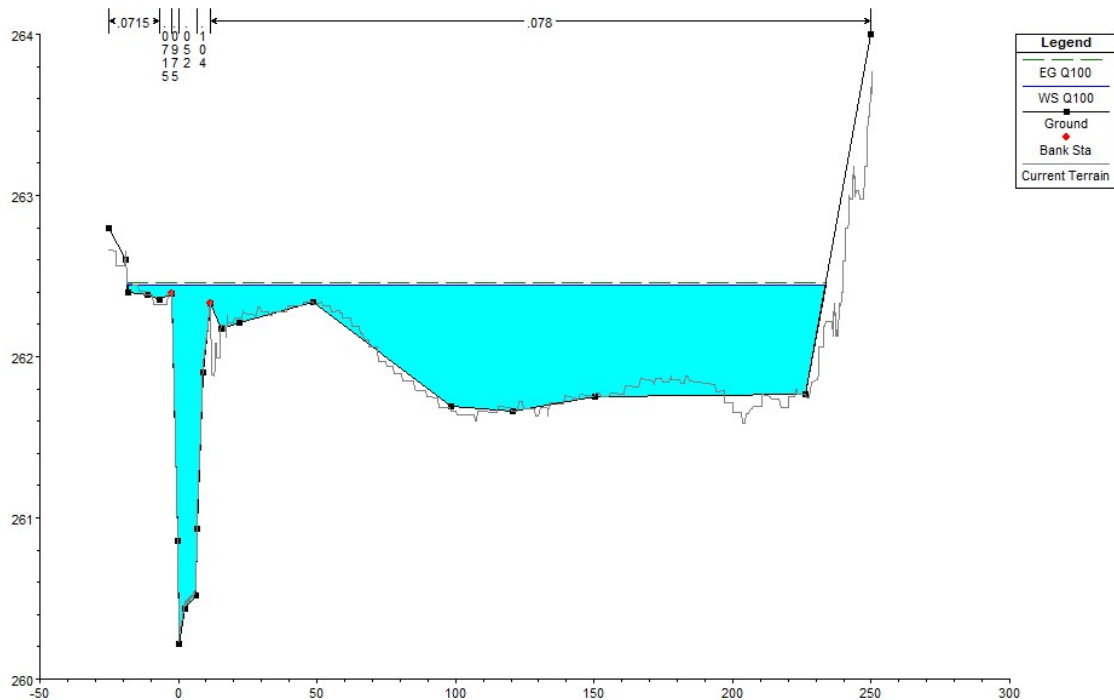
Byly doplněny chybějící příčné profily pod objekty. Většinou byly zaměřeny pouze příčné profily nad objektem a chyběla zaměření příčných profilů pod objektem, tudíž byly vytvořeny kopie profilů nad objekty a přesunuty pod objekty. [F, G, H, I]

Následně byly doplněny objekty a skluzy. Šířky stupňů byly odhadnuty na základě fotografií z místního šetření [Q], šířky mostovek byly odměřeny z online ortofotografické mapy [A]. Příčné profily skluzů nejsou v podkladech zaměřeny, takže byly vytvořeny jako kopie jiných, již zaměřených příčných profilů. U těchto kopií byla upravena kilometráž a nadmořská výška dle podélného profilu od PMO a snížena drsnost dna na hodnotu dle tab. 8.4. [F, G, H, I] Hodnoty přepadových součinitelů byly určeny dle [15].

Pomocí funkce interpolace v programu HEC-RAS byly doplněny interpolované profily. Jejich vytočení od osy toku bylo opraveno způsobem dříve uvedeným.

Z takto upravené geometrie koryta (tj. geometrie obsahující původní zaměřené profily, doplněné chybějící profily pod objekty, doplněné chybějící profily skluzů a interpolované profily) byl pomocí RAS Mapperu vytvořen soubor digitálního modelu koryta. Ten byl poté spojen se souborem digitálního modelu terénu, ve kterém není koryto tak přesně zaměřeno. Výsledkem byl soubor finálního digitálního modelu terénu (ve kterém je vcelku přesně zaměřeno koryto i okolní terén), který byl využíván pro vykreslování rozlivů v přílohách B.3, B.4 a B.5.

Poté byly přidány levees. Zadaly se okrajové podmínky (sklon dna a hodnoty průtoků od PMO, viz kapitola 8.3.1 a tab. 8.2) a proveden výpočet. V případě, že bylo třeba umístění levees po výpočtu upravit, bylo upraveno a výpočet byl opětovně proveden. V problémových úsecích byly upravovány hodnoty drsností. Tímto způsobem byl model doiterován do finální podoby.



Obr. 8.3 – Příčný profil s rozlivem mimo koryto zadaný v HEC-RASu (autor)

8.5 Kalibrace modelu

Model byl kalibrován dle úrovně hladiny Q_{100} zakreslené v podélných profilech od PMO [F, G]. Hydrologická data viz tab. 8.2.

Jako pomůcka ke kalibraci byl použit Microsoft Office Excel, ve kterém byla kontrolována vzájemná odchylka mezi úrovněmi hladin Q_{100} v modelu vytvořeném autorem bakalářské práce a podélném profilu od PMO. [F, G]

Vzhledem ke stáří a nedostatečnosti geodetického zaměření a odlišnosti modelu autora od modelu PMO (pravděpodobně jiná okrajová podmínka, celkově delší řešený úsek, odlišná geometrie kvůli odlišné interpolaci profilů, jiné hodnoty drsností, přepadových součinitelů, jiný způsob zadávání přítoků apod.) byla určena hodnota maximální možné vzájemné odchylky úrovní hladin jako 0,5 m. [F, G, H, I]

Kalibrace na danou úroveň hladiny byla provedena pomocí změn hodnot drsností a přepadových součinitelů a změn v umístění levees.

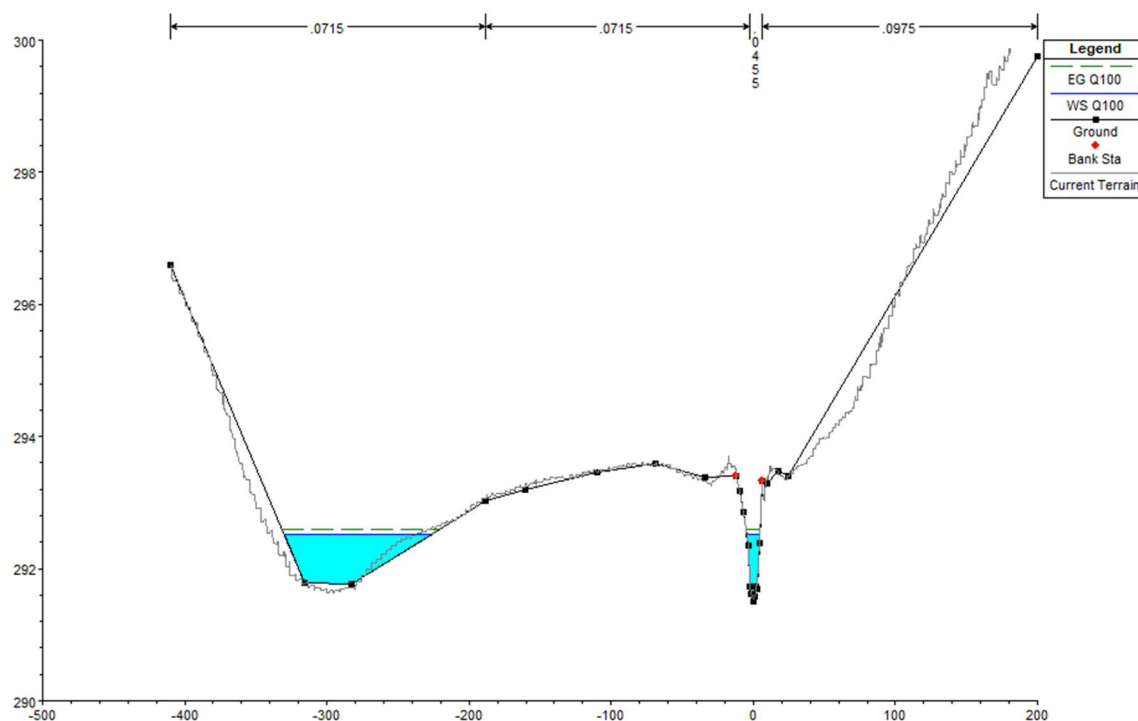
Tab. 8.5 – Profily s nadměrnou odchylkou úrovní hladin [F, G]

Staničení	Úroveň hladiny $H_{\text{povodí}}$	Úroveň hladiny H_{autor}	$H_{\text{povodí}} - H_{\text{autor}}$	Zdůvodnění
[km]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	
6,025	305,64	304,96	0,68	1D inundace
6,019	305,61	304,39	1,22	1D inundace
5,305	296,07	295,41	0,66	1D inundace
5,104	293,53	292,52	1,01	1D inundace
4,968	292,06	290,74	1,32	1D inundace
4,898	291,17	290,07	1,10	1D inundace
4,07535	282,14	280,35	1,79	1D inundace
3,723	276,16	275,14	1,02	(nezaměřený) horní profil skluzu
2,852225	267,49	268,07	-0,58	profil ve vývaru vysokého stupně
2,441	265,57	264,61	0,96	(nezaměřený) horní profil skluzu, 1D inundace

V některých problémových místech je odchylka mezi úrovněmi hladin vyšší než určených 0,5 m (viz tab. 8.5 a příloha A.1). Problémy jsou způsobeny především použitím nevětveného 1D modelu pro vykreslování inundací (viz obr. 8.4).

Problémy byly taktéž zaznamenány na dvou horních profilech skluzů (ř. km 2,441 a 3,723; viz tab. 8.5). Příčné profily skluzů nejsou v podkladech zaměřeny, takže byly vytvořeny jako kopie jiných zaměřených příčných profilů. U kopií byla upravena kilometráž a nadmořská výška dle podélného profilu od PMO a snížena drsnost dna. Je pravděpodobné, že PMO použilo pro jejich tvorbu jiné zaměřené příčné profily, jiné hodnoty drsností atd. [F, G, H, I]

V profilu na ř. km 2,82225 (viz tab. 8.5), který se nachází ve vývaru vysokého stupně a zároveň je horním profilem prahu ve dně, kterým je vývar ukončen, je odchylka způsobena absencí zaměření příčných profilů pod objekty a příčných profilů ve vývaru a nedostatečným zaměřením objektů. [F, G]



Obr. 8.4 – Přerozdělení průtoků v profilu s nadměrnou odchylkou na ř. km 5,104 (autor)

Pro odstranění odchylek by bylo potřeba lepší geodetické zaměření (tedy více husté a přesnější), se kterým by bylo možno realizovat větvení modelu, kombinaci 1D a 2D modelu nebo čistý 2D model.

Výstupní data z kalibrace viz příloha A.1.

9 KAPACITA KORYTA ZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Stávající stav byl vymodelován pro Q_1 , Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Hydrologická data viz tab. 8.2. [F, G]

Průtok Q_1 sloužil jenom jako kontrola pro případ, že by špatné rozdělení průtoků v příčných profilech při Q_1 bylo způsobeno jiným faktorem než rozmístěním levees.

Nejsou uvažovány změny průtoků vlivem globálního oteplování, které v podkladech jsou taktéž uvedeny. [F, G]

Z rozlivů vyplývá, že ohrožen je intravilán všech tří místních částí obce s rozšířenou působností Hranice.

Navrh PPO je tedy opodstatněný a věnují se mu kapitoly 10, 11, 12 a 13.

Výstupní data z modelování stávajícího stavu viz přílohy A.2 a B.3.

10 NÁVRH PPO

Návrh PPO bude proveden ve 2 variantách – bez poldru Lhotka (varianta 1; viz kapitola 11) a s ním (varianta 2; viz kapitola 12).

Návrhové průtoky byly voleny dle charakteru chráněného území (viz tab. 10.1). [A, E, K, Q, P]

Tab. 10.1 – Volba návrhových průtoků dle charakteru chráněného území [P]

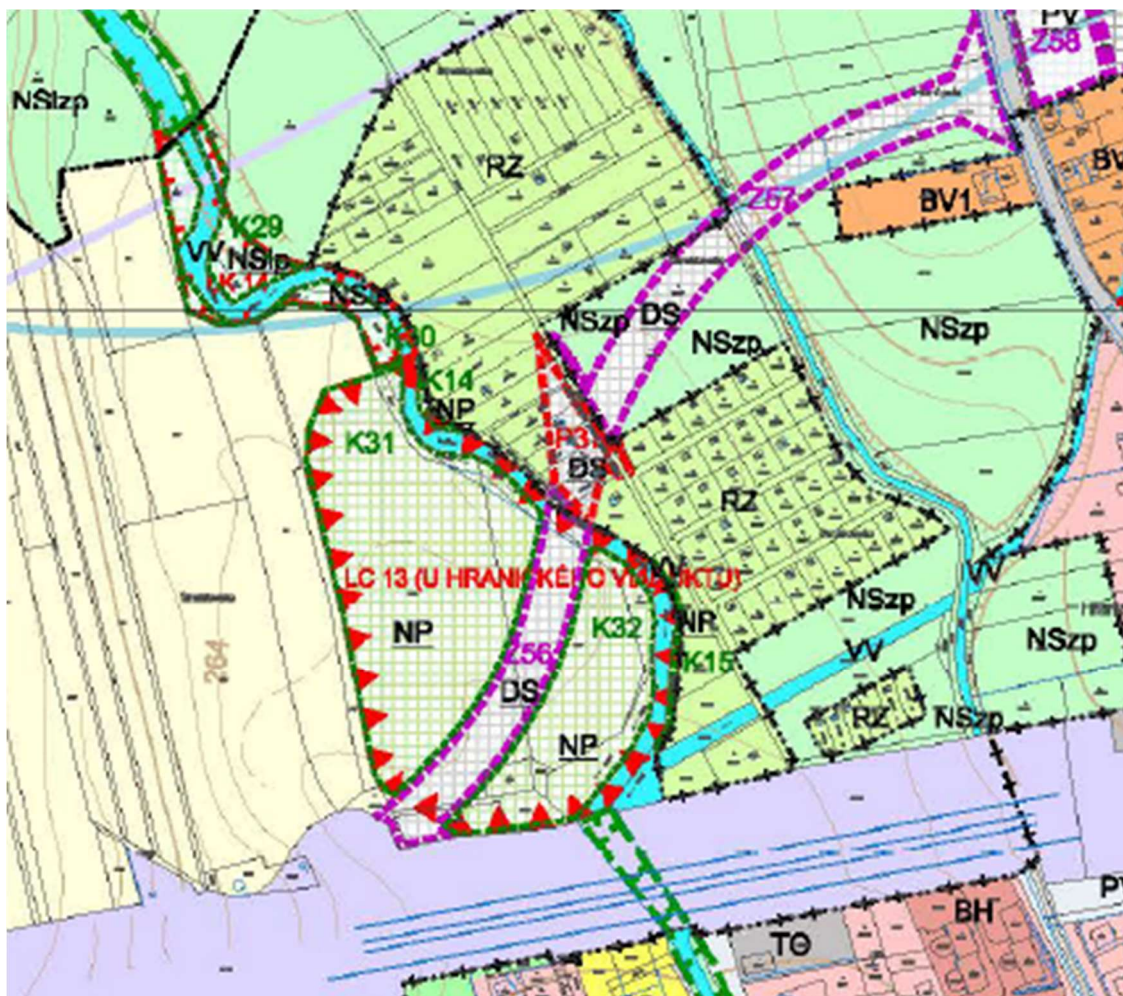
Návrhový průtok	Zástavba
$Q_2 - Q_5$	Louky, lesy
$Q_5 - Q_{20}$	Orná půda
Q_{20}	Intenzivně obhospodařované chmelnice a vinice
Q_{50}	Souvislá zástavba, průmyslové areály

Revitalizace samotného koryta nebude provedena, jelikož je koryto v mnohých úsecích především na svazích značně renaturováno (viz kapitola 7.3) a zásahy by ohrozily, pravděpodobně dokonce vyhubily stávající biotop. [Q]

V úsecích, kde bude umožněn přístup techniky, budou ze dna koryta vybagrováním odstraněny sedimenty. V úsecích, kam se technika nedostane kvůli malé šířce koryta a hustému porostu v okolí koryta, bude provedeno ruční rozhrábnutí sedimentů.

Pro zvýšení kapacity byla v intravilánu byla navržena PPO blízká přírodě provedená formou protipovodňových zdí a zemních valů. Zemní valy byly pro svůj přírodě blízký vzhled a obecně nižší finanční náklady upřednostňovány, ovšem majetkoprávní poměry a současná zástavba ukázaly, že o jejich realizaci lze uvažovat pouze v jednom úseku toku (viz kapitola 11.2.8).

V extravilánu budou využity stávající inundace. Územní plán nepočítá s využitím převážné většiny inundací jinak než jako zemědělských, lesních či polních ploch, ploch pro zeleň nebo ploch určených pro vodní hospodářství. Jediný problémový úsek se nachází v intravilánu Hranice I-Město, kde se nalézá úsek určený pro výstavbu silnice (fialovou čárkovanou čarou ohraničená plocha s nápisem DS na obr. 10.1). Inundace by byla ovlivněna výškou násypu silnice a v případě, že by násyp nebyl dostatečně vysoký a silnice byla zatopena, musela by se navrhnout příslušná PPO. Údaje o výšce násypu nejsou k dispozici, proto není silnice brána v úvahu. [E]



Obr. 10.1 – Vyznačení budoucího silničního pozemku v Územním plánu [E]

MAJETKOPRÁVNÍ POMĚRY

Výkres s rozlivy za stávajícího stavu koryta (viz příloha B.2) byl ve formátu DWG byl podložen ortofotografickou mapou z WMS serveru ČÚZK a katastrální mapou ČR (získanou pomocí funkce doplňku BIMTech Tools). [K, 9]

Byl vykreslen první návrh umístění PPO na základě výše uvedené ortofotografické mapy a poté zkorigován dle výše uvedené katastrální mapy ČR tak, aby bylo řešení majetkoprávních poměrů co nejnadhnější, tzn. aby PPO procházela co nejméně pozemky s co nejméně vlastníky.

Dle očekávání nebylo možno v intravilánu měst navrhnout zemní valy, jelikož zabírají moc rozsáhlou půdorysnou plochu. Proto byla navržena z převážně části ochrana formou protipovodňové zdi. Výstavba zemního valu je navržena jen v jednom úseku (val je finančně méně náročný a pozemek, na kterém bude realizován, je ve vlastnictví ČR; viz kapitola 11.2.8).

11 VARIANTA 1 (PPO BEZ POLDRU LHOTKA)

Pro návrh PPO bez realizovaného poldru Lhotka byla použita hydrologická data od PMO, viz tab. 8.2. [F, G]

11.1 Kapacita koryta s PPO bez poldru Lhotka

Kapacita koryta s PPO byla vymodelována pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , jelikož je to standartní postup metodiky a vyhlášky č. 79/2018 Sb. [N, R]

Konkrétní návrhové průtoky (viz níže) byly zvoleny na základě poznatků o úpravě vodních toků v podkladu [P], viz tab. 10.1.

Intravilán Hranice III-Velká a Hranice II-Lhotka bude chráněn na Q_{50} s rezervou, jelikož se jedná o trvale obývanou oblast. [A, E, K, Q]

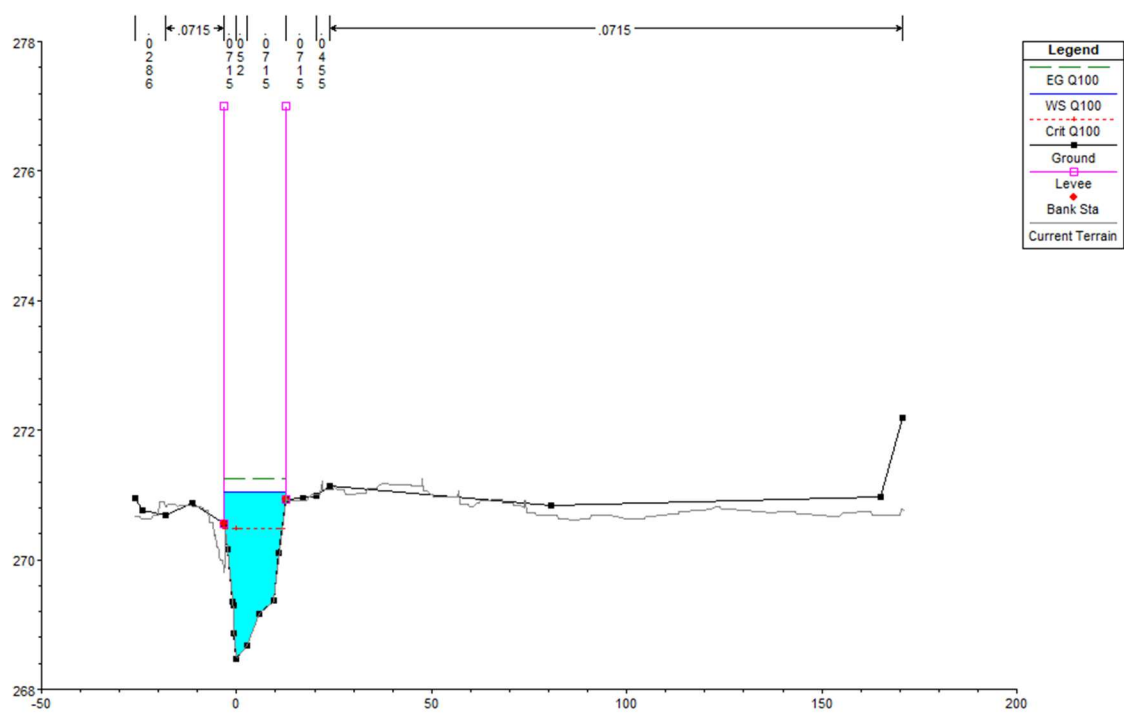
Intravilán v upravovaném úseku místní části Hranice I-Město byl na základě místního šetření [Q] a ortofotomapy [A, K] vyhodnocen jako souvislá chatařská zástavba určená pro rekreaci, podle Územního plánu [E] se jedná o zahrádkářskou osadu určenou k rekreaci. Pozemky a nemovitosti mají pravděpodobně nižší hodnotu než pozemky v intravilánu místních částí Hranice III-Velká a Hranice II-Lhotka a pravděpodobně mají vyšší cenu než louky a lesy nebo orná půda. Proto byla zvolen návrhový průtok Q_{20} , pro korektnější volbu by musela být provedena riziková analýza.

Kapacita pro Q_{50} byla vymodelována, jelikož na Q_{50} bude ochráněna velká část intravilánu. Analýzou dat o hladinách (viz příloha A.3) bylo zjištěno, že rezerva 0,35 m nad úrovní hladiny Q_{50} ochrání vybraný úsek i na průtok Q_{100} . Proto nejsou v příloze s rozlivy pro variantu 1 (viz B.4) vykresleny rozlivy Q_{50} .

Protipovodňové zdi, zemní valy a mobilní hrazení byly v HEC-RASu provedeny jako levees, které velmi převyšovaly úroveň hladiny (viz obr. 11.1). Jejich konkrétní výška byla určena analýzou v Microsoft Office Excelu, přičemž se jedná o předběžný návrh vycházející z nedostatečně často zaměřených příčných profilů a z nich vyinterpolovaných profilů, které ale nemusí dostatečně odpovídat reálné geometrii terénu v toku. Pro přesnější návrh hrází je nutné získat aktuálnější a podrobnější geodetické zaměření.

Návrh protipovodňových zdí, zemních valů a mobilního hrazení viz kapitoly 13.1, 13.2 a 13.3.

Tabulková příloha analýzy viz A.3, výkresová příloha viz příloha B.4.



Obr. 11.1 – Návrh PPO pomocí levees (autor)

11.2 Stavební objekty

Navržená PPO je rozdělena na 14 stavebních objektů (dále jen SO).

Legenda k obrázkům v následujících podkapitolách viz tab. 11.1.

Tab. 11.1 – Legenda k obrázkům stavebních objektů

Barva	Objekt/plocha
Fialová	- Protipovodňová zeď
Hnědá	- Zemní val
Růžová	- Mobilní hrazení
Červená	- Pozemky soukromých vlastníků
Modrá (světle)	- Pozemky ČR, PMO, města Hranice nebo Správy silnic Olomouckého kraje
Zelená	- Nedotčené pozemky
Modrá	- Osa toku

U PMO, ČR, města Hranice a Správě silnic Olomouckého kraje, se předpokládá méně složité jednání o vyřešení majetkoprávních vztahů.

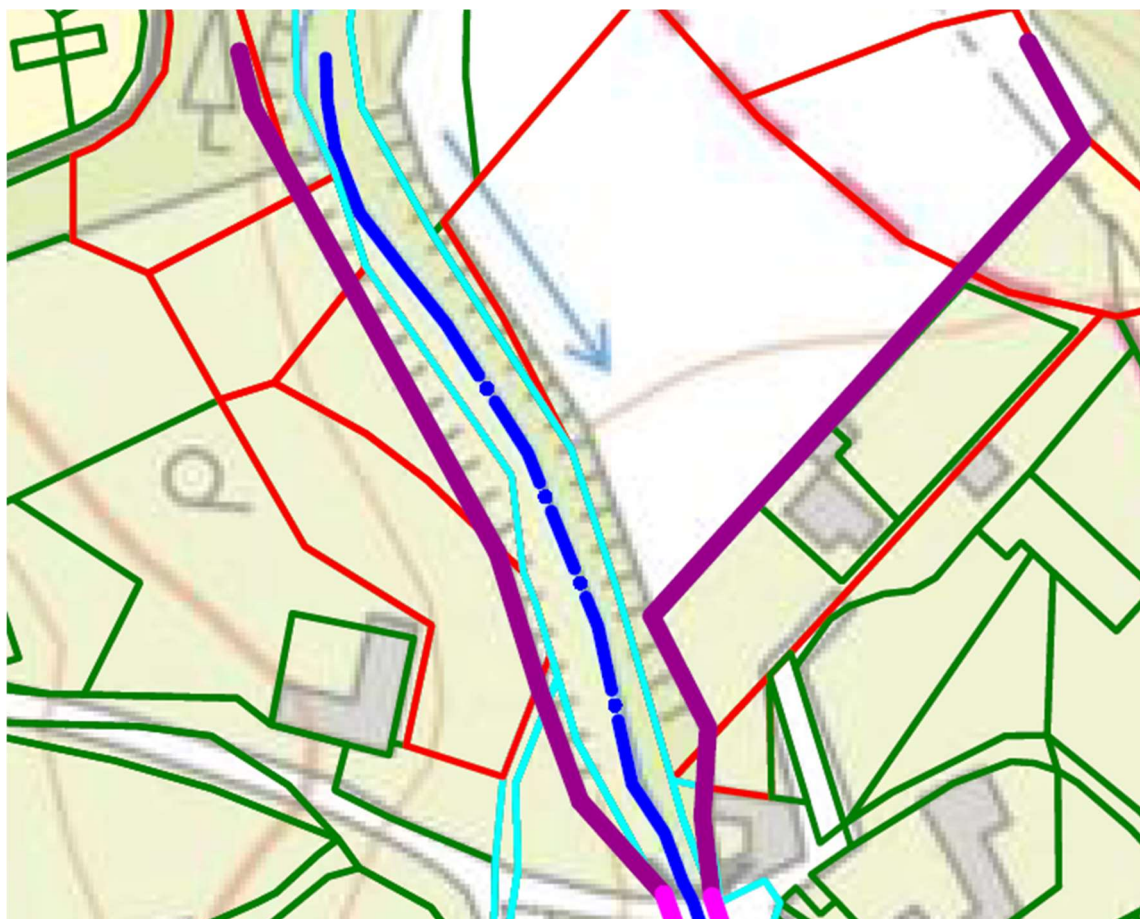
V následujících podkapitolách je charakter chráněného území zjištěn z [A, E, K, Q]. Údaje o pozemcích byly převzaty z katastrální mapy ČR poskytnuté prostřednictvím BIMTech Tools [9].

Technické provedení protipovodňové zdi, zemního valu a mobilního hrazení použitých v následujících podkapitolách viz kapitoly 13.1, 13.2 a 13.3.

11.2.1 Stavební objekty 01 a 02

- **Označení:** SO-01, SO-02
- **Úsek:** 6,019-6,202 ř. km
- **Umístění:** Pravý břeh (SO-01) & levý břeh a levá inundace (SO-02)
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď

Umístění PPO viz obr. 11.2. Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.2 a graf 11.1.

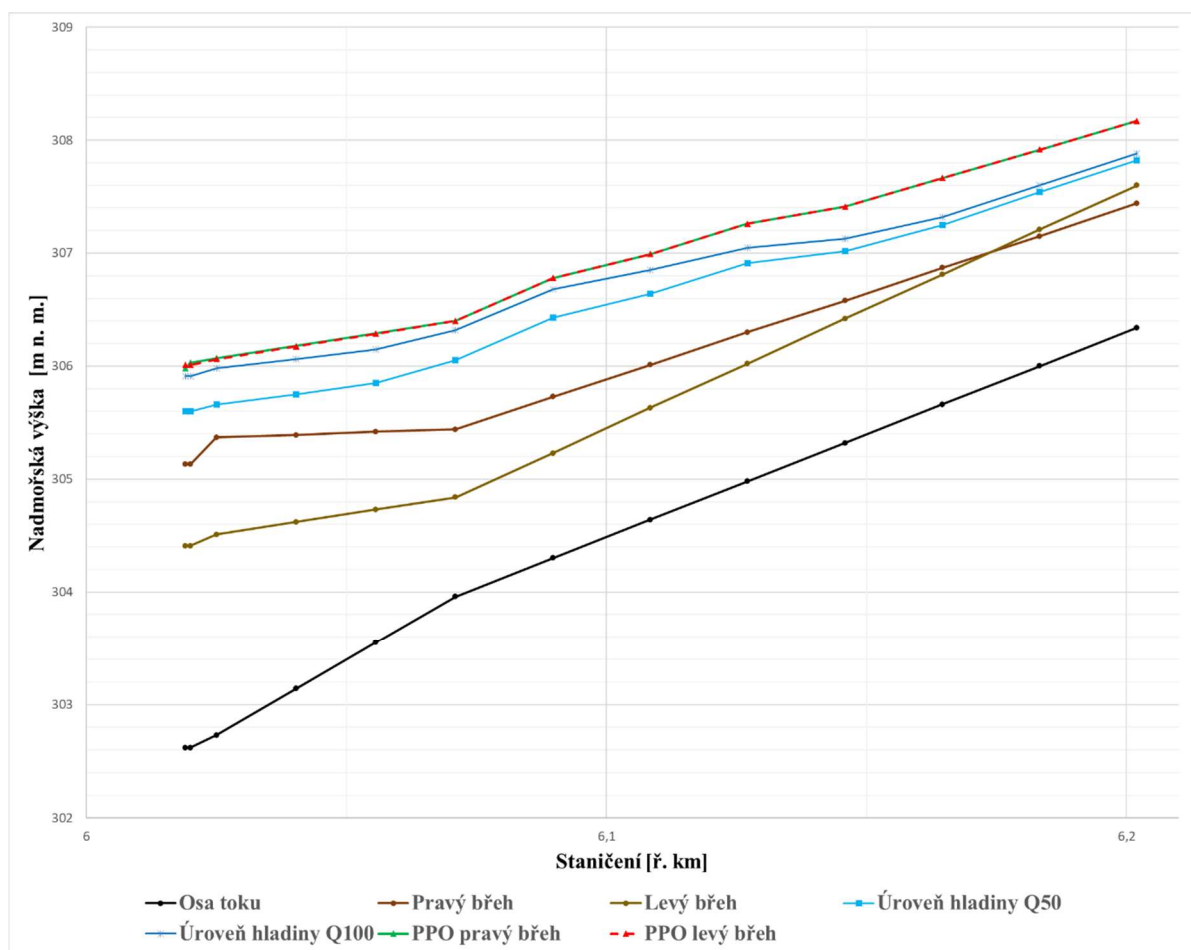


Obr. 11.2 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-01 a SO-02 (autor)

Legenda k obr. 11.2 viz tab. 11.1.

Tab. 11.2 – Základní údaje o SO-01 a SO-02

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-01	Pravý	0,70	1,05	305,98	308,17	0,86
SO-02	Levý	0,57	1,60	306,01	308,17	1,28

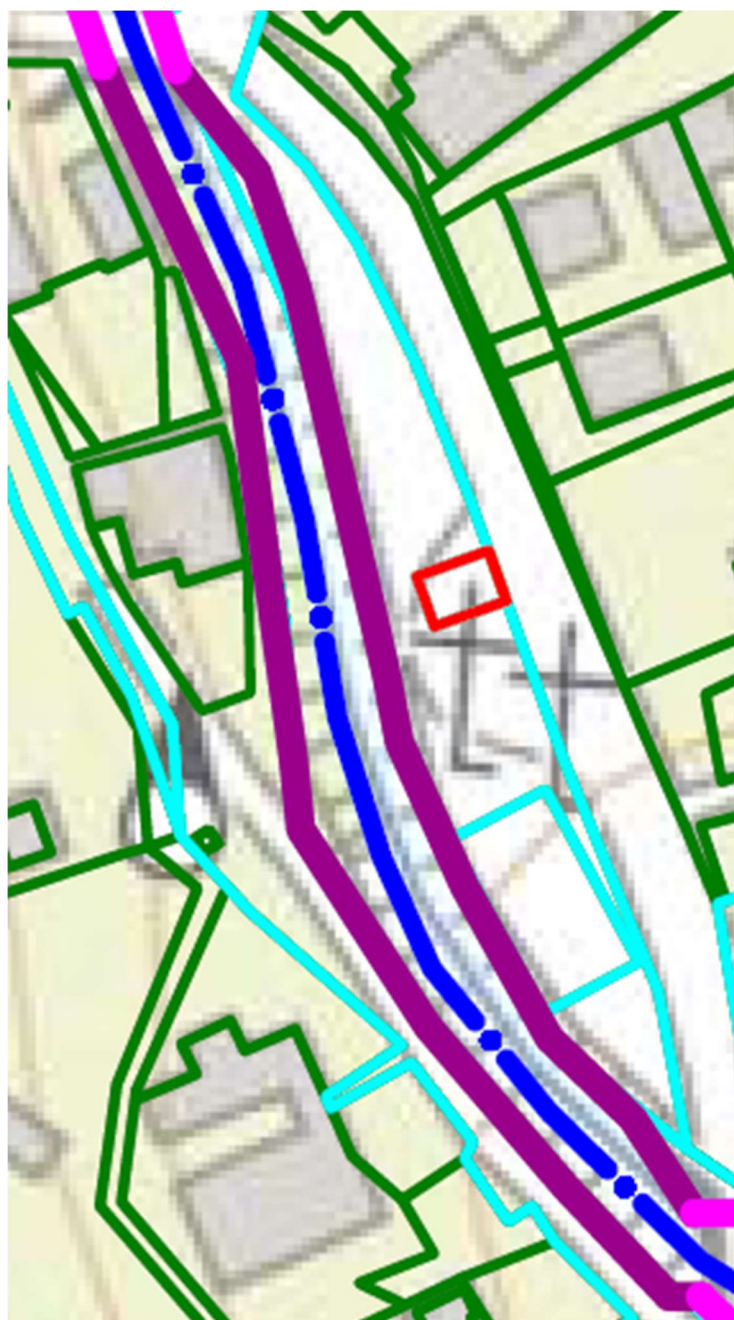


Graf. 11.1 – Předběžný podélný profil SO-01 a SO-02

11.2.2 Stavební objekty 03 a 04

- **Označení:** SO-03, SO-04
- **Úsek:** 5,849-6,011 ř. km
- **Umístění:** Pravý břeh (SO-03) & levý břeh (SO-04)
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď

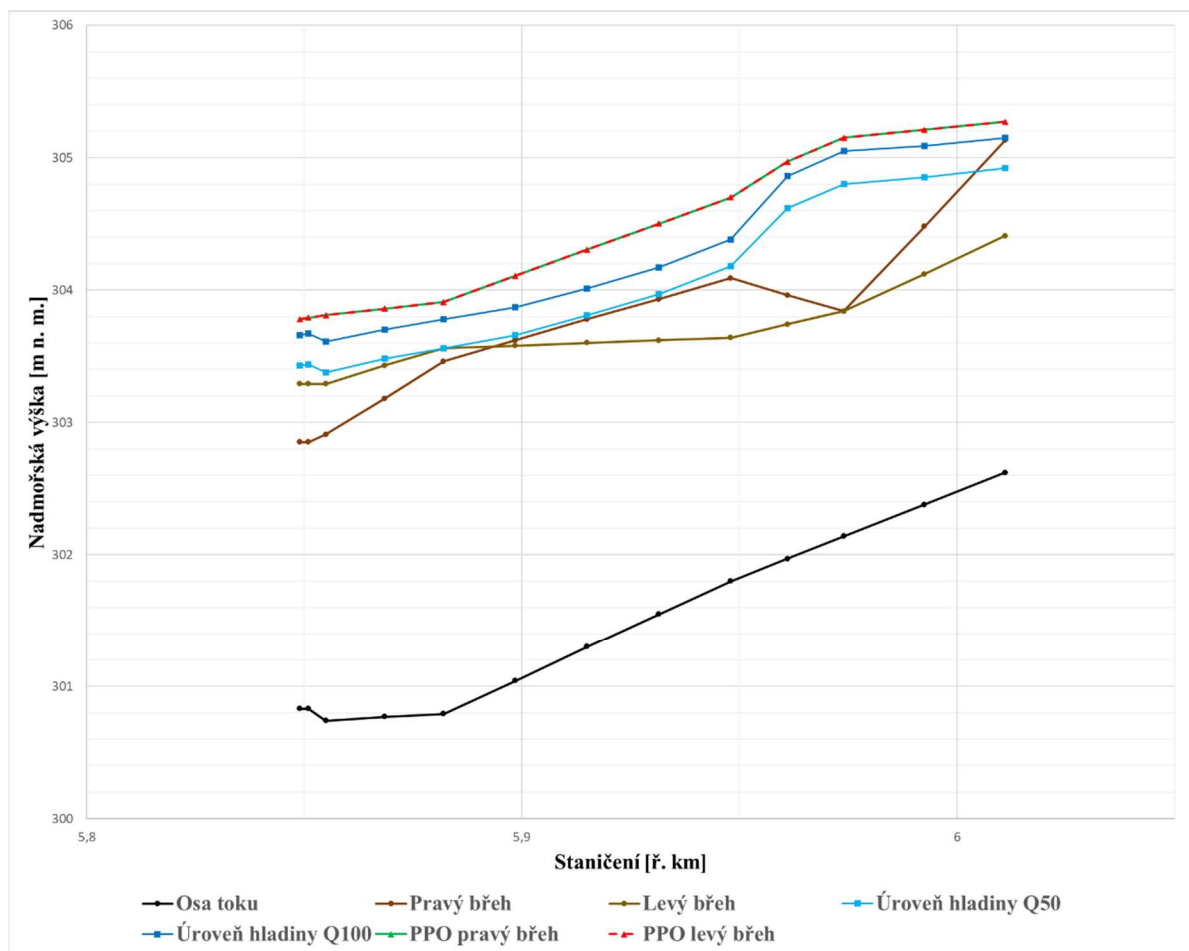
Umístění PPO viz obr. 11.3 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.3 a graf 11.2.



Obr. 11.3 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-03 a SO-04 (autor)

Tab. 11.3 – Základní údaje o SO-03 a SO-04

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-03	Pravý	0,14	1,31	303,78	305,27	0,71
SO-04	Levý	0,35	1,31	303,78	305,27	0,77



Graf. 11.2 – Předběžný podélný profil SO-03 a SO-04

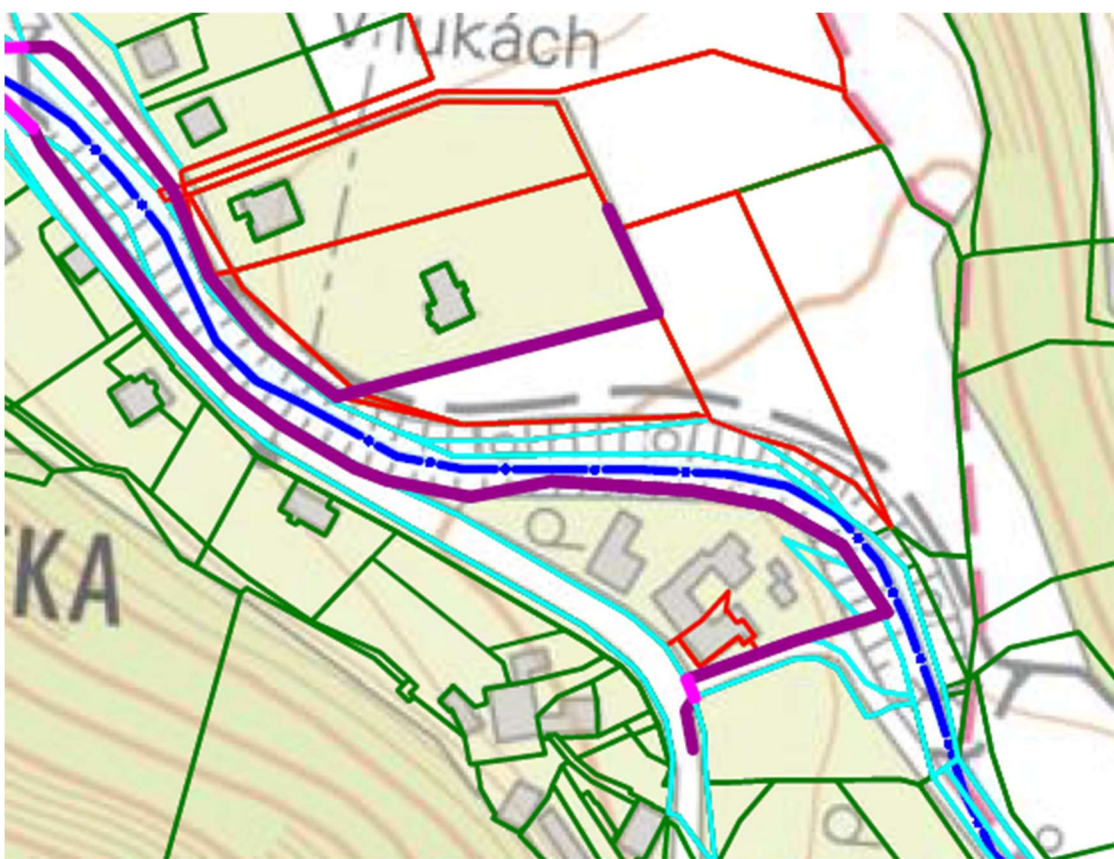
11.2.3 Stavební objekty 05 a 06

- **Označení:** SO-05, SO-06
- **Úsek:** 5,468-5,835 ř. km (SO-05), 5,6252-5,835 ř. km (SO-06)
- **Umístění:** Pravý břeh, pravá inundace a dopravní komunikace (SO-05) & levý břeh a levá inundace (SO-06)
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Dopravní komunikace (pouze SO-05), zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď, mobilní hrazení

Ochrana nemovitostí níže po proudu byla předběžně vyhodnocena jako neekonomická, proto není realizována. Pro korektní ekonomické zhodnocení by bylo nutno vypracovat rizikovou analýzu.

V místech, kde linie trasování PPO překřičuje komunikaci, budou v dopravní komunikaci provedeny drážky pro instalaci mobilního hrazení.

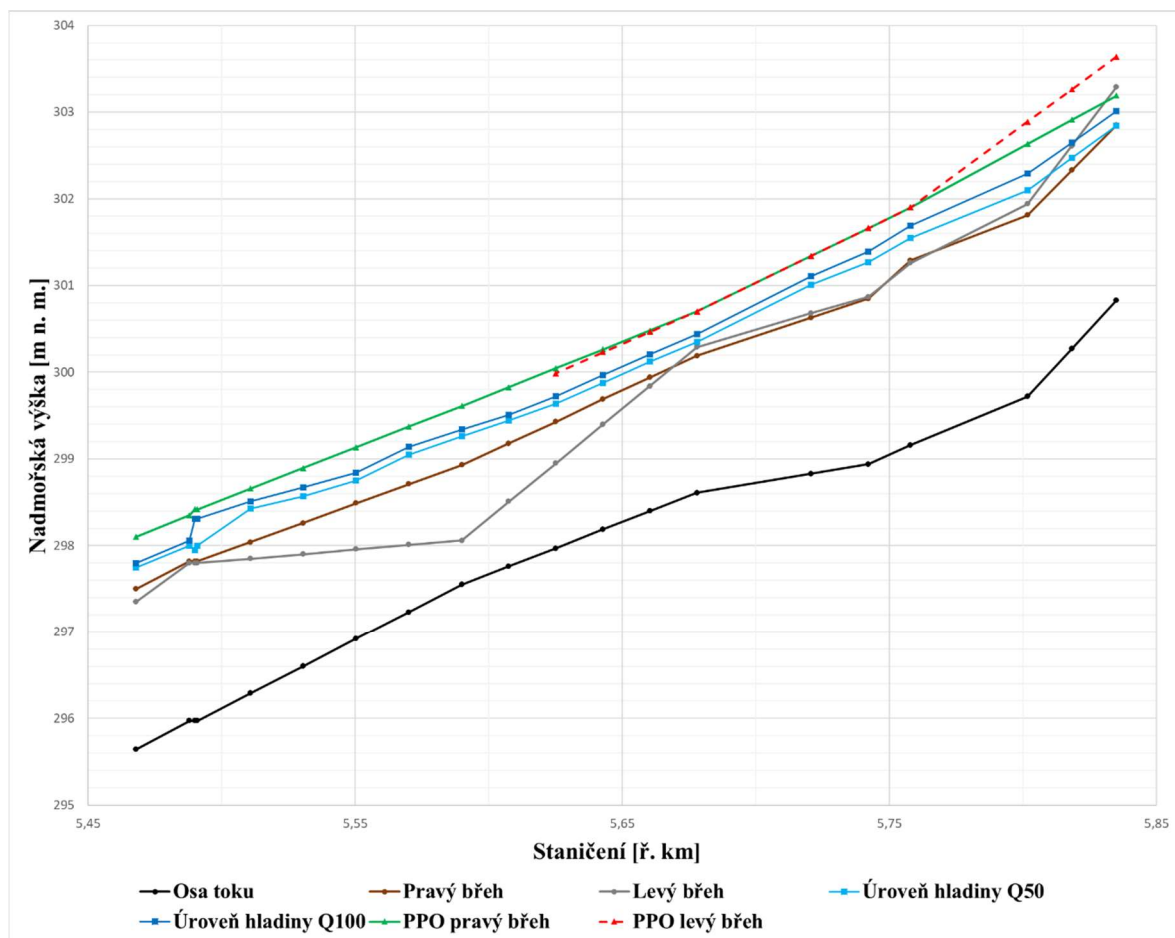
Umístění PPO viz obr. 11.4. (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.4 a graf 11.3.



Obr. 11.4 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-05 a SO-06 (autor)

Tab. 11.4 – Základní údaje o SO-05 a SO-06

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-05	Pravý	0,34	0,82	298,10	303,19	0,62
SO-06	Levý	0,35	1,04	299,99	303,64	0,69



Graf. 11.3 – Předběžný podélný profil SO-05 a SO-06

11.2.4 Stavební objekt 07

- **Označení:** SO-07
- **Úsek:** 3,4304-3,5893 ř. km
- **Umístění:** Pravý břeh a pravá inundace
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď, mobilní hrazení

Ochrana nemovitostí na levém břehu koryta v daném úseku byla předběžně vyhodnocena jako neekonomická, proto není realizována. Pro korektní ekonomické zhodnocení by bylo nutno vypracovat rizikovou analýzu.

V místech, kde linie trasování PPO překřičuje komunikaci, budou v dopravní komunikaci provedeny drážky pro instalaci mobilního hrazení.

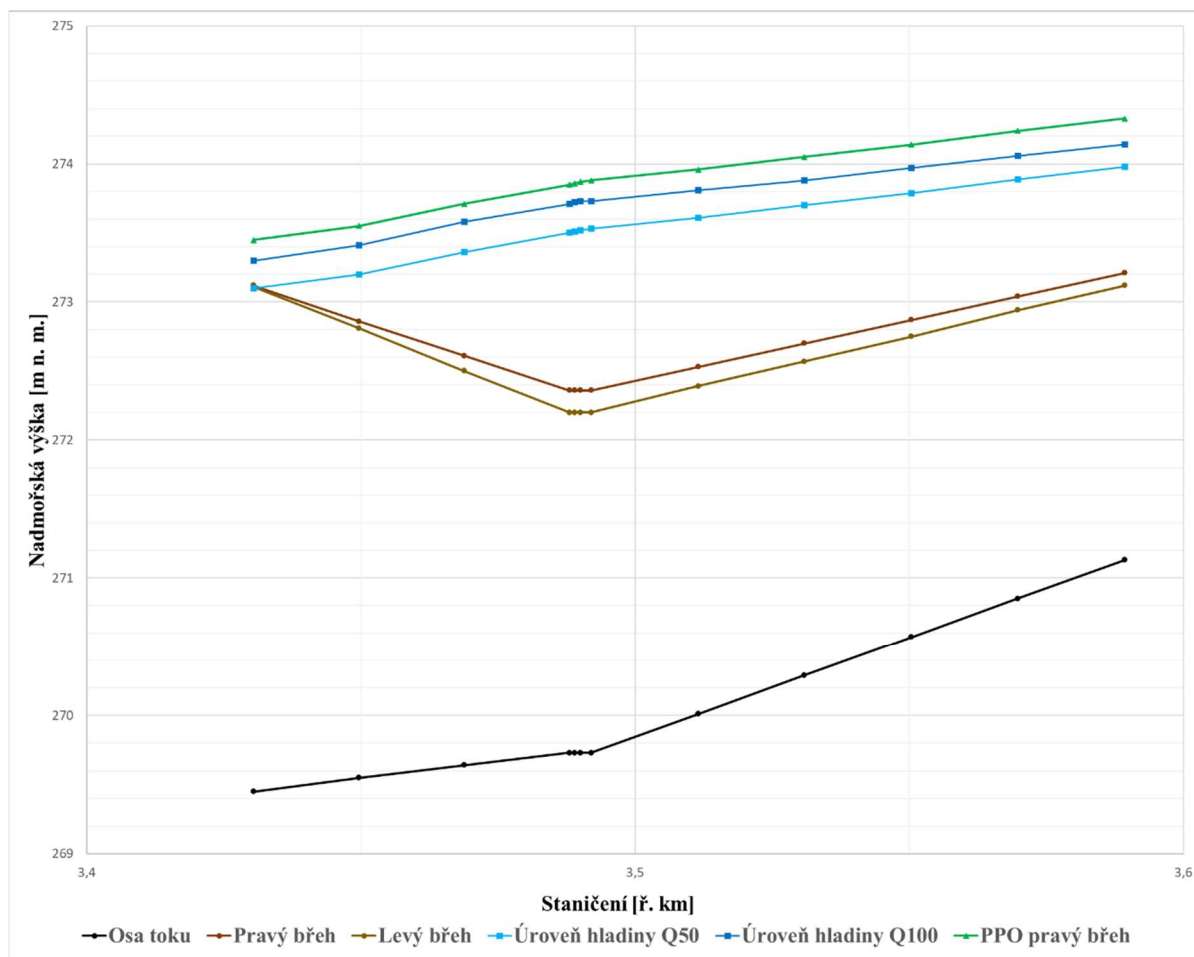
Umístění PPO viz obr. 11.5 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.5 a graf 11.4.



Obr. 11.5 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-07 (autor)

Tab. 11.5 – Základní údaje o SO-07

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-07	Pravý	0,33	1,52	273,45	274,33	1,21



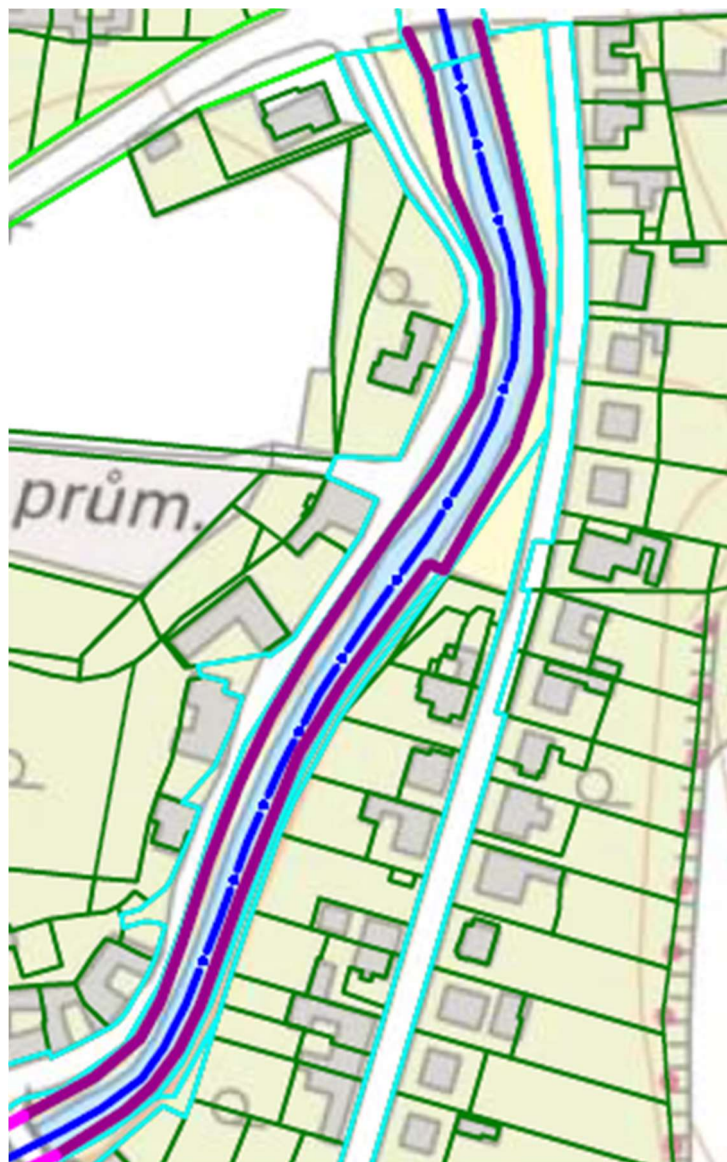
Graf. 11.4 – Předběžný podélný profil SO-07

11.2.5 Stavební objekty 08 a 09

- **Označení:** SO-08, SO-09
- **Úsek:** 2,984-3,377 ř. km
- **Umístění:** Pravý břeh (SO-08) & levý břeh (SO-09)
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď

V místech, kde výška zdi přesáhne 1,95 m nad terénem, je nutno na koruně zdi navrhnout drážky pro instalaci mobilního hrazení a mobilní hrazení, které zajistí rezervu min. 0,35 m nad hladinou Q_{50} .

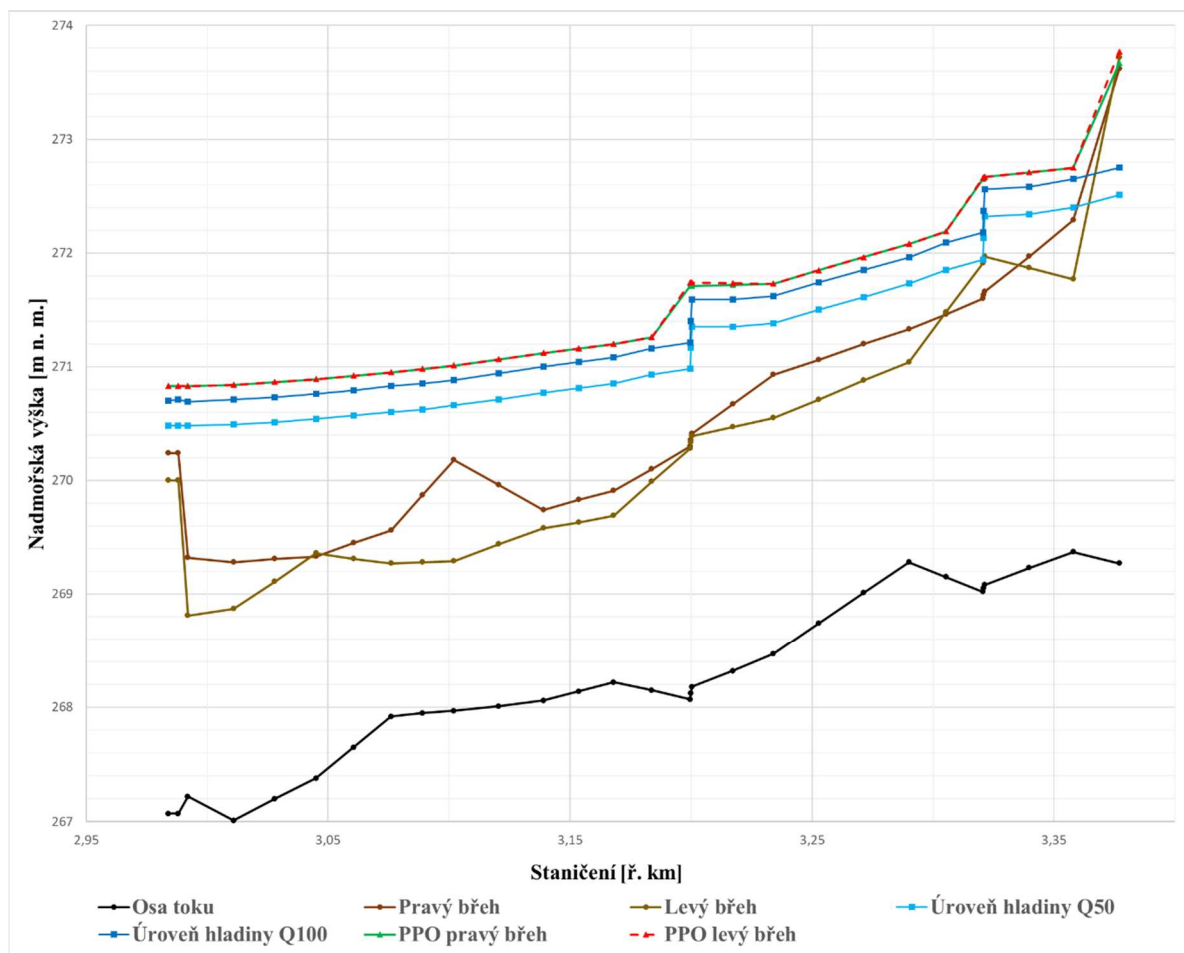
Umístění PPO viz obr. 11.6 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.6 a graf 11.5.



Obr. 11.6 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-08 a SO-09 (autor)

Tab. 11.6 – Základní údaje o SO-08 a SO-09

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-08	Pravý	0,05	1,56	270,83	273,67	1,06
SO-09	Levý	0,05	2,02	270,83	273,77	1,26



Graf. 11.5 – Předběžný podélný profil SO-08 a SO-09

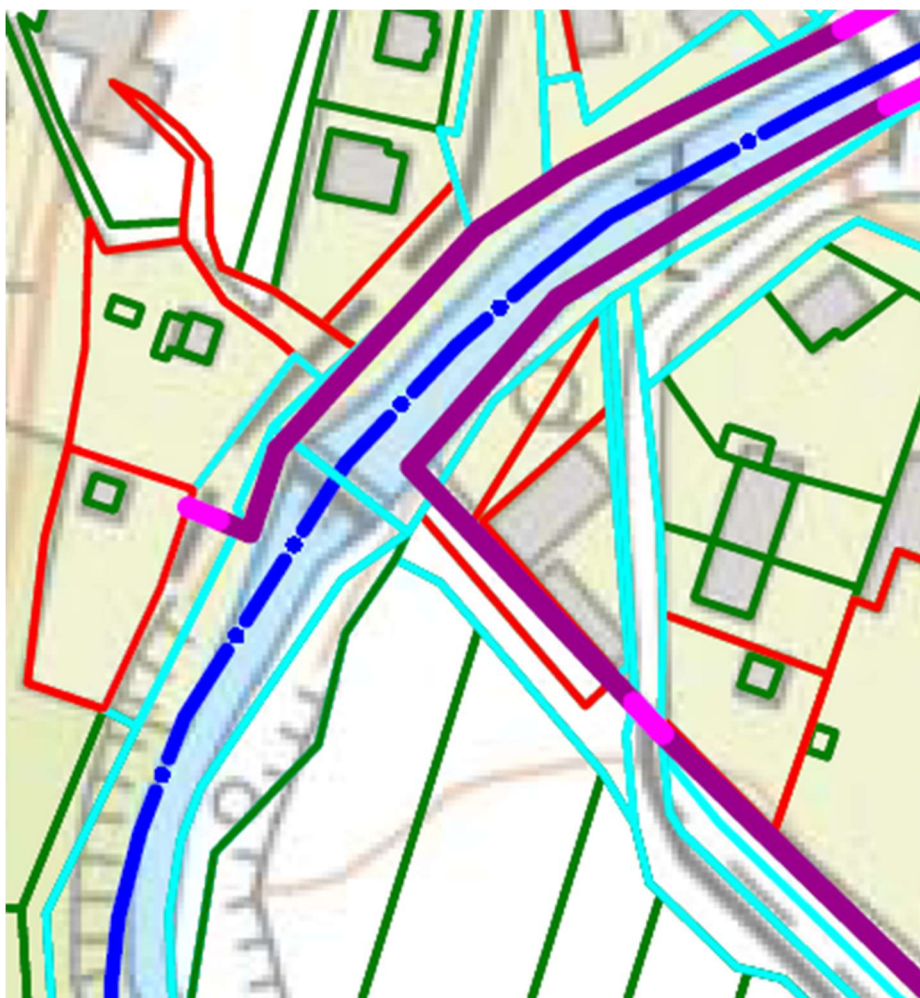
11.2.6 Stavební objekty 10 a 11

- **Označení:** SO-10, SO-11
- **Úsek:** 2,8345-2,976 ř. km.
- **Umístění:** Pravý břeh a dopravní komunikace (SO-10) & levý břeh, levá inundace a dopravní komunikace (SO-11)
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď, mobilní hrazení

Nemovitost na pravém břehu směrem dolů po proudu nebude chráněna, neboť byla realizace její ochrany předběžně vyhodnocena jako ekonomicky nevýhodná. Pro korektní ekonomické zhodnocení by bylo nutno vypracovat rizikovou analýzu.

V místech, kde linie trasování PPO překřičuje komunikaci, budou v dopravní komunikaci provedeny drážky pro instalaci mobilního hrazení.

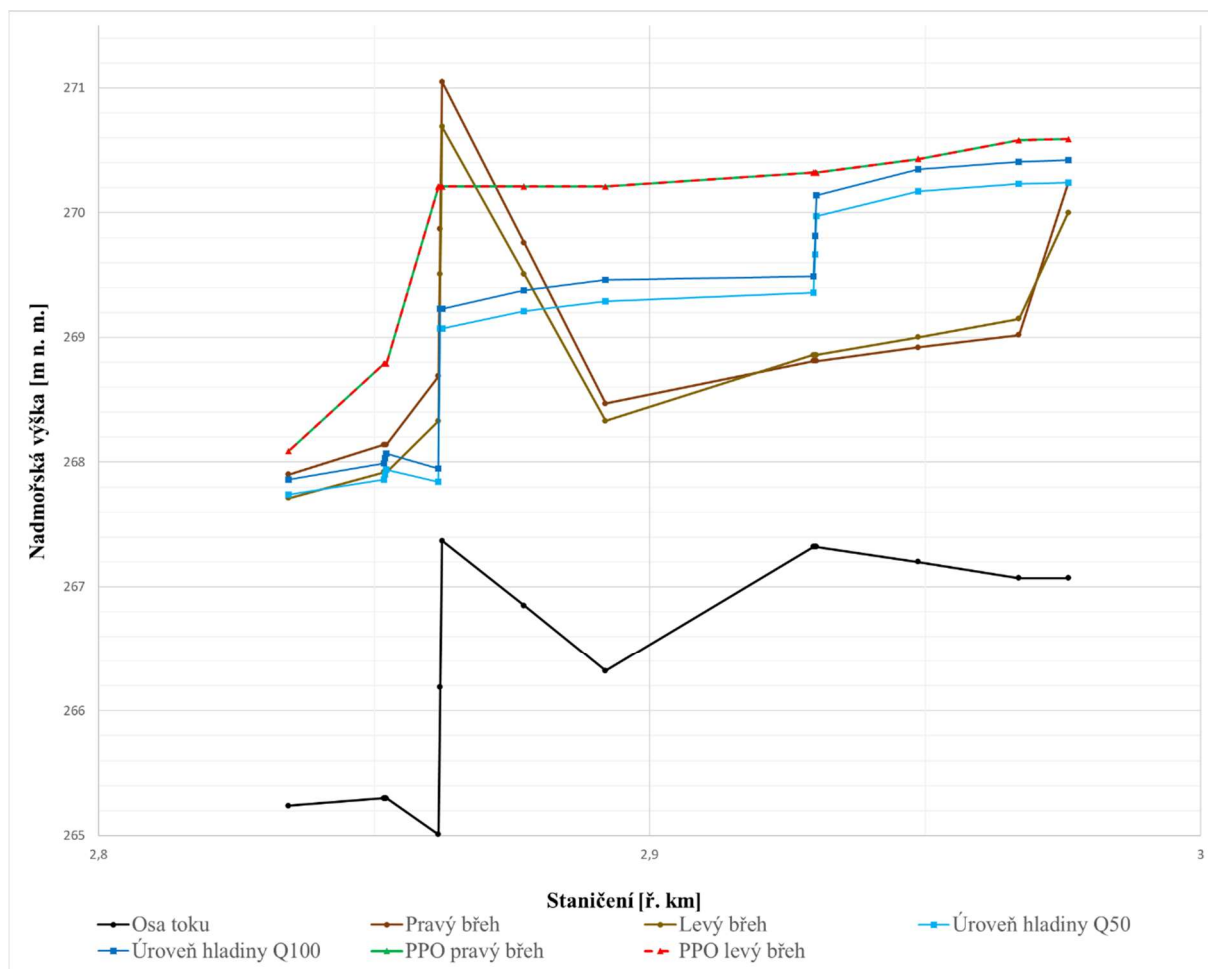
Umístění PPO viz obr. 11.7 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.7 a graf 11.6.



Obr. 11.7 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-10 a SO-11 (autor)

Tab. 11.7 – Základní údaje o SO-10 a SO-11

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-10	Pravý	0,19	1,74	268,09	270,59	1,01
SO-11	Levý	0,38	1,88	268,09	270,59	1,14



Graf. 11.6 – Předběžný podélný profil SO-10 a SO-11

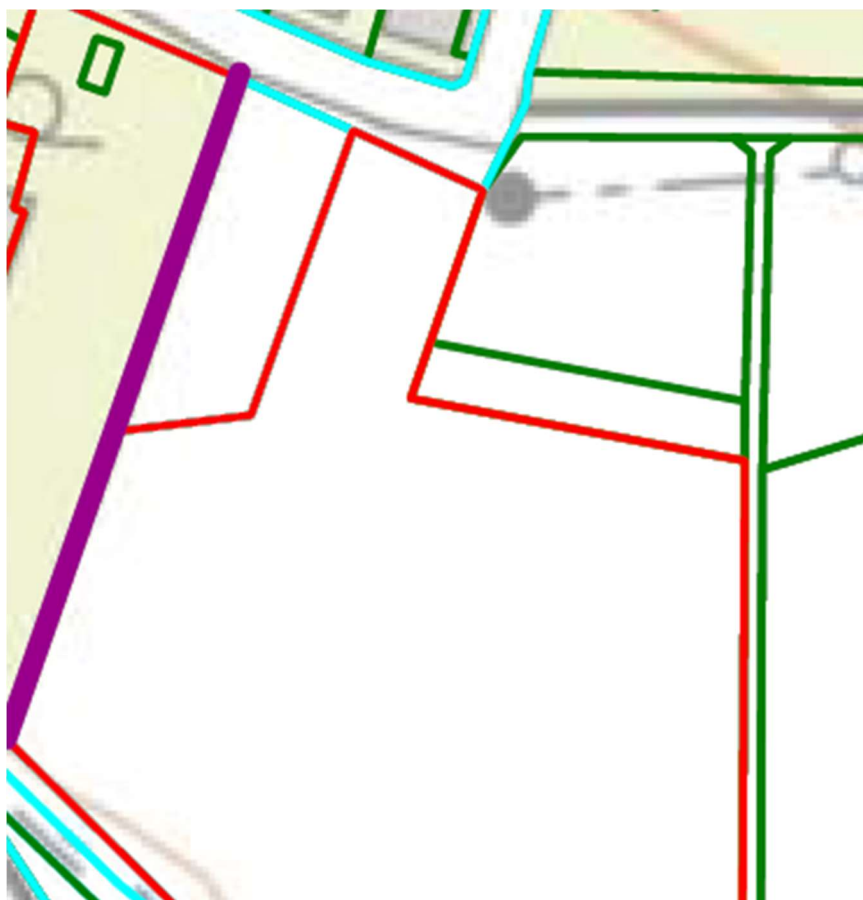
11.2.7 Stavební objekt 12

- **Označení:** SO-12
- **Úsek:** 2,8345-2,988 ř. km
- **Umístění:** Levá inundace
- **Ochrana na:** Q_{50} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď, mobilní hrazení

Objekt bude chránit stávající zástavbu určenou pro bydlení proti zpětnému vzdutí. Vykreslení rozlivů v této oblasti bylo značně problematické, jelikož tok je zde v oblouku. Ke zpětnému vzdutí pravděpodobně dojde, lepší interpretace rozlivů by byla možná s lepšími geodetickými podklady nebo nejlépe modelováním pomocí 2D modelu. Návrh byl tedy realizován na stranu bezpečnou a SO-12 byl veden až k zavázání do dopravní komunikace, která je výše než úroveň hladiny v nejvyšším místě rozlivu. [S]

Objekt bude proveden jako protipovodňová zeď a bude přímo napojen na SO-11. (viz kapitola 11.2.6).

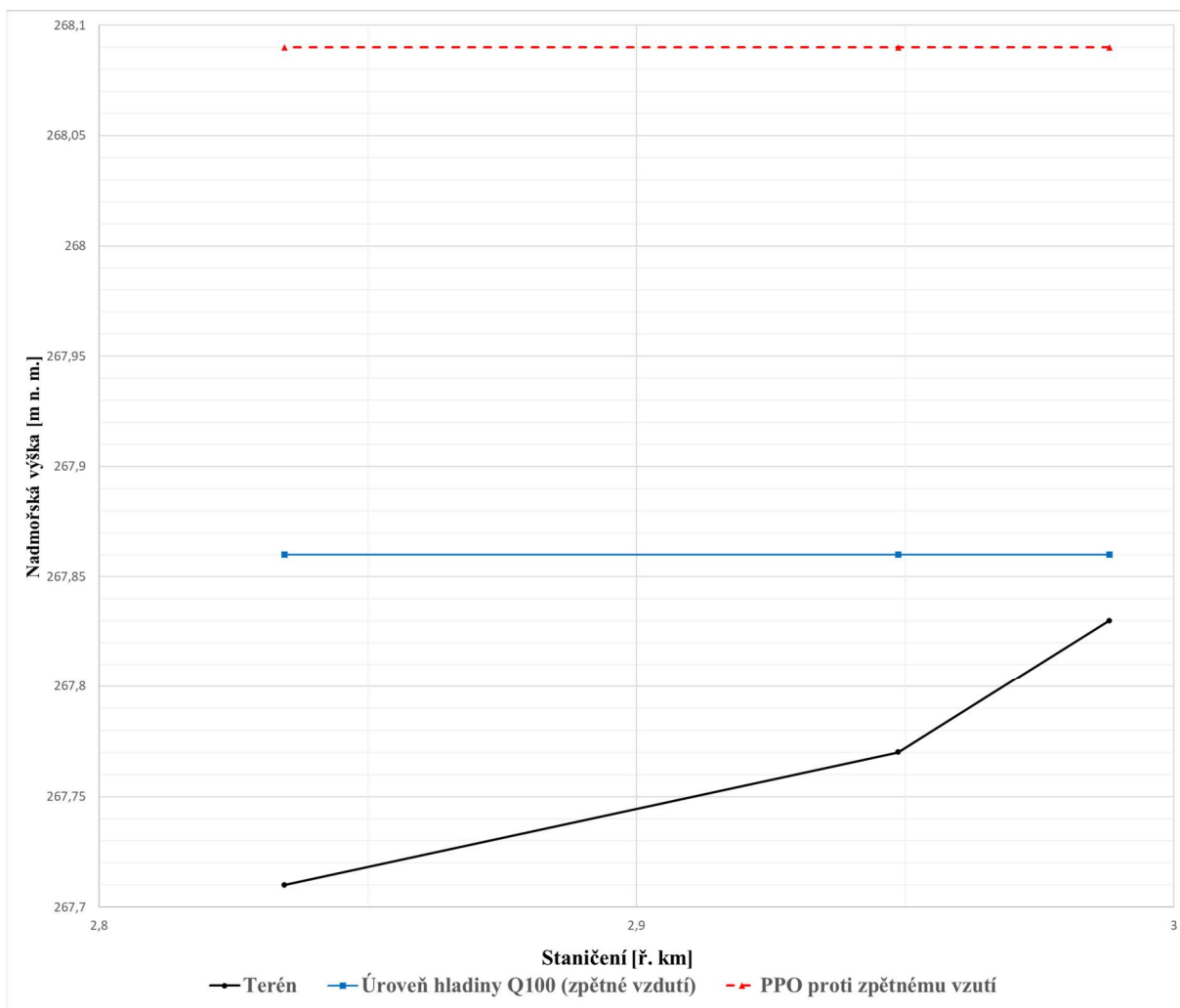
Umístění PPO viz obr. 11.8 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.8 a graf 11.7.



Obr. 11.8 – Inundační území, ve kterém bude realizován SO-12 (autor)

Tab. 11.8 – Základní údaje o SO-12

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-12	Levý	0,26	0,38	268,09	268,09	0,32



Graf. 11.7 – Předběžný podélný profil SO-12

11.2.8 Stavební objekt 13

- **Označení:** SO-13
- **Úsek:** 2,5237-2,441 ř. km
- **Umístění:** Levá inundace
- **Ochrana na:** Q_{20}
- **Charakter chráněného území:** Zahrádkářská oblast (chaty)
- **Provedení:** Zemní val

Objekt bude chránit stávající zahrádkářskou (chatařskou) oblast proti přítoku z inundace, která se nachází severně (tj. protiproudě) nad ní. Vykreslení rozlivů v oblasti této inundace bylo značně problematické, jelikož tok je zde v oblouku a terén sám o sobě velmi členitý. Lepší interpretace rozlivů by byla možná s lepšími geodetickými podklady nebo nejlépe modelováním pomocí 2D modelu. Návrh byl tedy realizován na stranu bezpečnou a SO-13 byl veden mnohem dále, než bylo v rozlivech vykresleno. [S]

Objekt bude proveden jako homogenní zemní val, jelikož bude postaven na pozemku patřícímu ČR (očekává se bezproblémové majetkoprávní vyrovnání, což urychlí realizaci a tím pádem zlevní projekt; náklady na materiály a realizaci zemního valu jsou odhadovány jako nižší než v případě, že by byla realizována protipovodňová stěna).

SO-13 bude přímo napojen na SO-14. (viz kapitola 11.2.9). Detail propojení by měl být vyřešen ve vyšších úrovních projektové dokumentace.

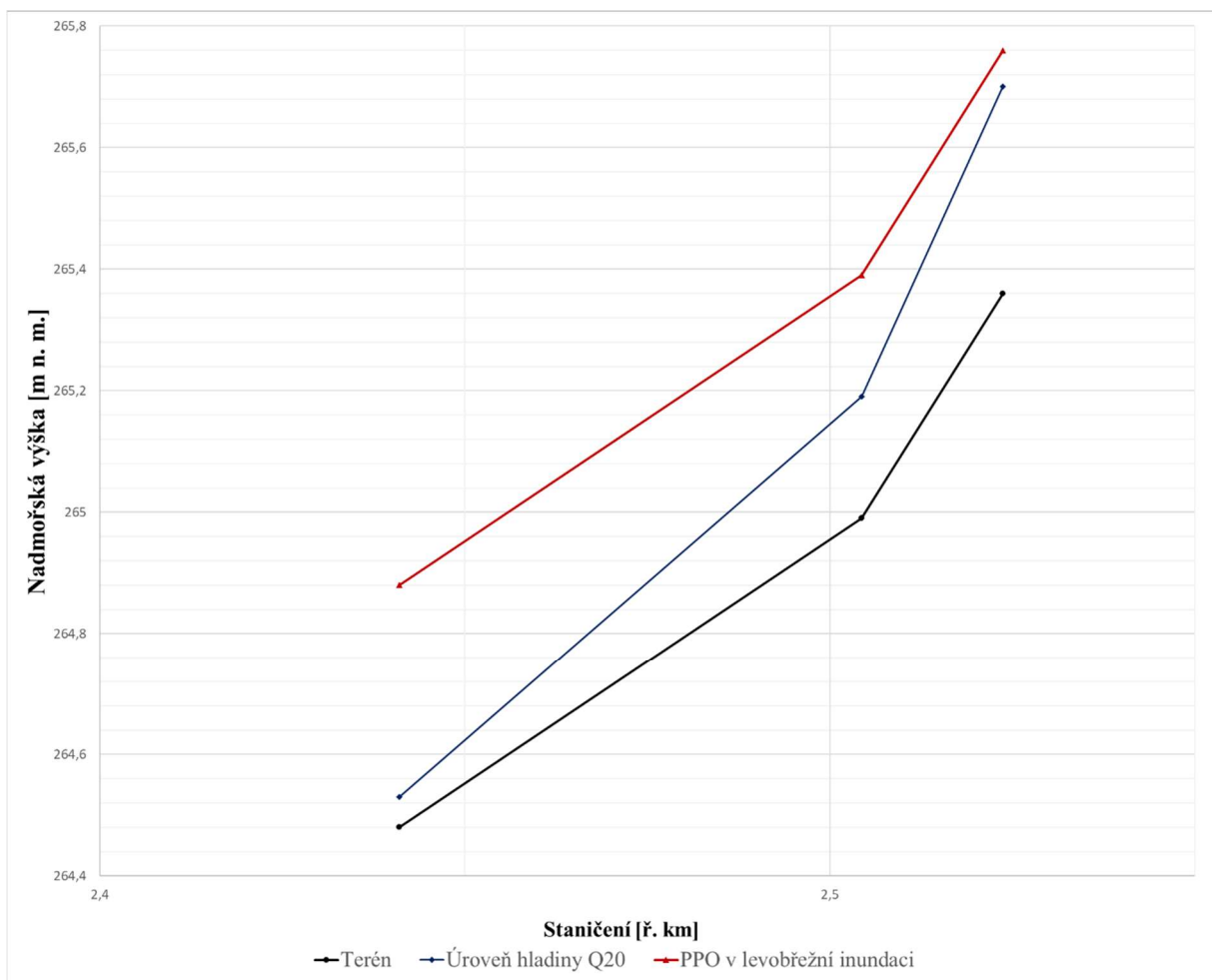
Umístění PPO viz obr. 11.9 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.9 a graf 11.8.



Obr. 11.9 – Inundační území, ve kterém bude realizován SO-13 (autor)

Tab. 11.9 – Základní údaje o SO-13

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-13	Levý	0,40	0,40	264,88	265,76	0,40



Graf. 11.8 – Předběžný podélný profil SO-13

11.2.9 Stavební objekt 14

- **Označení:** SO-14
- **Úsek:** 2,1628-2441 ř. km
- **Umístění:** Levý břeh a levá inundace
- **Ochrana na:** Q_{20}
- **Charakter chráněného území:** Zahrádkářská oblast (chaty)
- **Provedení:** Protipovodňová zeď

Nemovitost na levém břehu směrem dolů po proudu nebude chráněna, neboť byla realizace její ochrany předběžně vyhodnocena jako ekonomicky nevýhodná. Pro korektní ekonomické zhodnocení by bylo nutno vypracovat rizikovou analýzu.

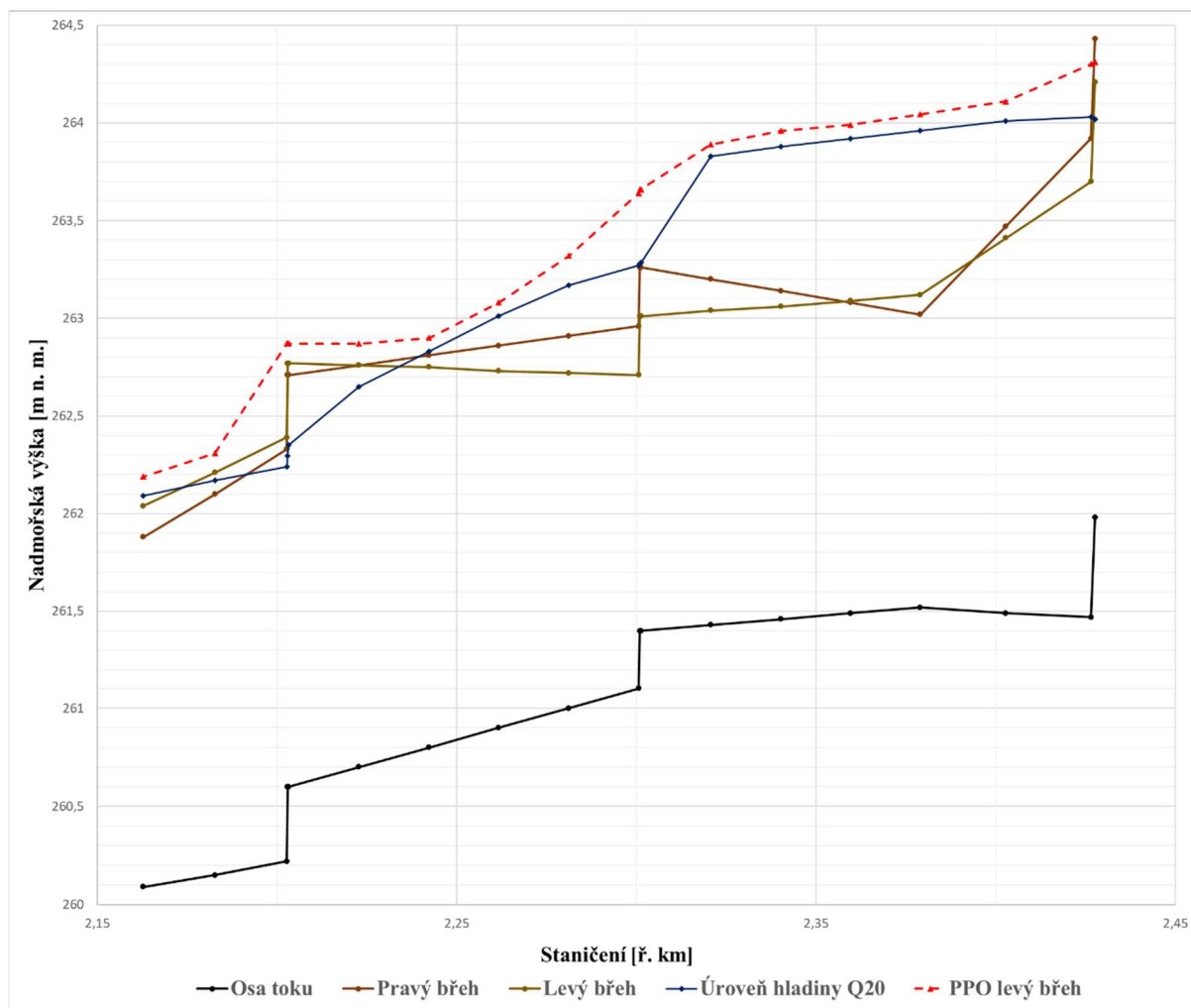
Umístění PPO viz obr. 11.10 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 11.10 a graf 11.9.



Obr. 11.10 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-14 (autor)

Tab. 11.10 – Základní údaje o SO-14

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-14	Levý	0,10	0,93	262,19	265,13	0,45



Graf. 11.9 – Předběžný podélný profil SO-14

12 VARIANTA 2 (PPO S POLDREM LHOTKA)

Poldr Lhotka se nalézá na 6,280 ř. km a jeho retenční prostor sahá až do ř. km 7,141. [B, T]

Poldr Lhotka provede transformaci průtoků. Vzhledem k tomu, že firma AgPOL s.r.o. používala pro vypracování studie data o průtocích od ČHMÚ, která jsou výrazně odlišná od těch z PMO, byla vytvořena kombinovaná hydrologická data (viz tab. 8.3). Ta uvažují s transformací průtoků poldrem Lhotka se spodní výpustí DN1100, přičemž data o průtocích na přítocích Veličky jsou převzata od PMO. [T, F, G]

12.1 Kapacita koryta s PPO s poldrem Lhotka

Kapacita koryta s PPO byla vymodelována pro Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} , jelikož je to standartní postup metodiky a vyhlášky č. 79/2018 Sb. [N, R]

Konkrétní návrhový průtok (viz níže) byl volen na základě poznatků o úpravě vodních toků v podkladu [P] viz tab. 10.1.

Stávající rozliv Q_{20} po transformaci neohrozil intravilán místní části Hranice I-Město, tudíž v Hranice I-Město nebyla navržena PPO. Rozlivy Q_{50} a Q_{100} byly díky transformaci téměř identické, tudíž byla PPO navržena na Q_{100} s rezervou a rozliv byl vykreslen jen pro Q_{100} . Rezerva je min. 0,3 m. [A, E, K, Q]

Návrh PPO v HEC-RASu byl provedený vytvořením levees, které velmi převyšovaly úroveň hladiny. Jejich konkrétní výška byla určena analýzou v Microsoft Office Excelu (viz příloha A.4), přičemž se jedná o předběžný návrh vycházející z nedostatečně často zaměřených příčných profilů a z nich vyinterpolovaných profilů, které ale nemusí dostatečně odpovídat reálné geometrii terénu v toku. Pro přesnější návrh PPO je nutné získat aktuálnější a podrobnější geodetické zaměření.

Tabulková příloha analýzy viz A.4, výkresová příloha viz příloha B.5.

12.2 Stavební objekty

Navržená PPO je navržena jako 1 stavení objekt, a to SO-01.

U pozemků patřících PMO, ČR, městu Hranice a Správě silnic Olomouckého kraje se předpokládá méně složité jednání o vyřešení majetkoprávních vztahů. [9]

V následující podkapitole je charakter chráněného území zjištěn z [A, E, K, Q]. Údaje o pozemcích byly převzaty z katastrální mapy ČR poskytnuté prostřednictvím BIMTech Tools [9].

Technické provedení protipovodňové zdi viz kapitola 13.1.

12.2.1 Stavební objekt 01

- **Označení:** SO-01
- **Úsek:** 2,892-2,976 ř. km
- **Umístění:** Pravý břeh
- **Ochrana na:** Q_{100} s rezervou
- **Charakter chráněného území:** Zástavba pro bydlení
- **Provedení:** Protipovodňová zeď

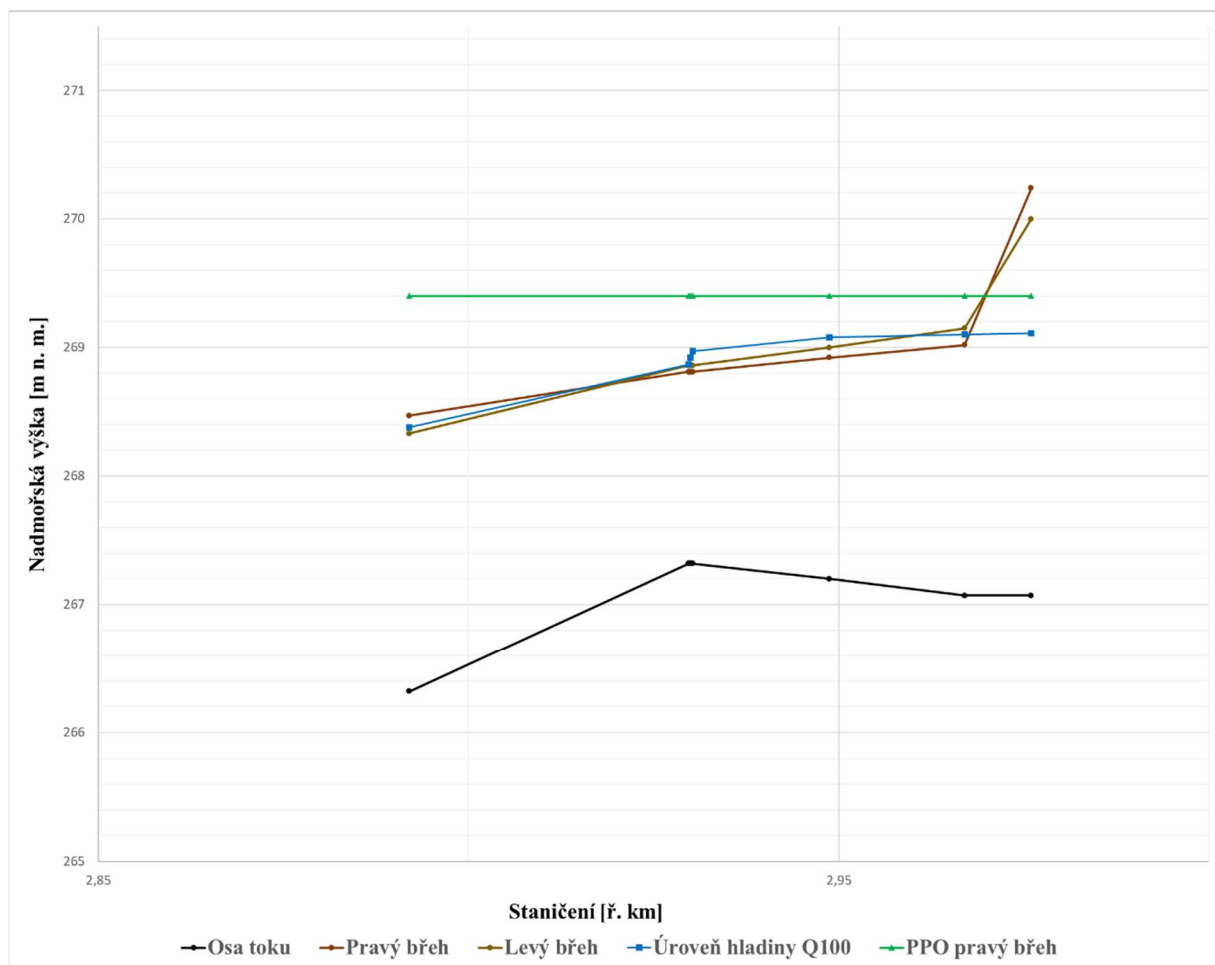
Umístění PPO viz obr. 12.1 (legenda viz tab. 11.1). Údaje o předběžně určené výškové úrovni PPO viz tab. 12.1 a graf 12.1.



Obr. 12.1 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-01 (autor)

Tab. 12.1 – Základní údaje o SO-01

Stavební objekt	Břeh	Minimální výška nad terénem [m]	Maximální výška nad terénem [m]	Minimální kóta koruny [m n. m.]	Maximální kóta koruny [m n. m.]	Průměrná výška nad terénem [m]
SO-01	Pravý	0,38	0,93	269,40	269,40	0,59



Graf. 12.1 – Předběžný podélný profil SO-01

13 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ PRVKŮ PPO

Návrh technického řešení prvků PPO je pouze předběžný.

Podklady je nutno doplnit o konkrétní geologická a hydrogeologická data. Taktéž je nutný statický posudek, vyřešení drenáže protipovodňové zdi a křížení s inženýrskými sítěmi, vyřešení detailu přechodu zemního valu v protipovodňovou zeď a upravení materiálů a stavebních prvků dle konkrétních technických a ekonomických požadavků a nabízeného sortimentu.

13.1 Protipovodňová zed'

Protipovodňová zeď (viz. obr. 13.1) byla navržena s přihlédnutím k [O].

Použitý materiál bude železobeton třídy minimálně C30/37 XC4.

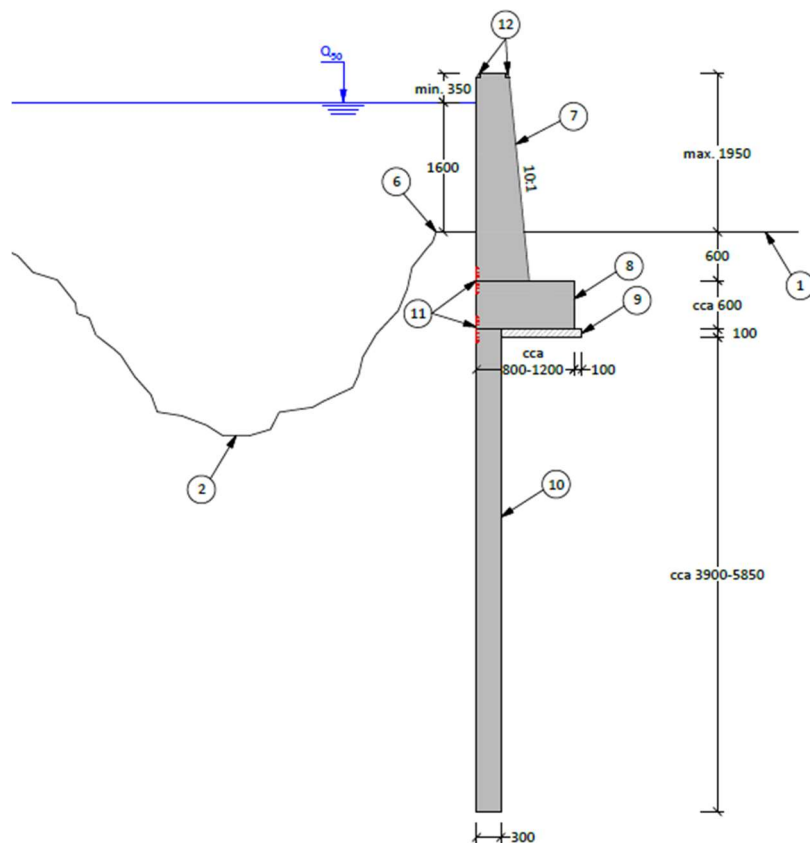
Založení bude provedeno těsnícím prvkem (např. štetovou stěnou) do hloubky určené na základě geologického a hydrogeologického průzkumu a statického posudku.

Pracovní spáry budou těsněny vnějšími bentonitovými pásy.

Zed' bude po celé délce toku převýšena nad návrhový průtok o patřičnou rezervu.

Přístup k toku bude umožněn otvory, které budou zahrazovány mobilním hrazením. Rozmístění těchto otvorů nebylo v této úrovni projektu řešeno.

Další detaily viz příloha B.6.



Obr. 13.1 – Vzorový řez protipovodňovou zdí (autor)

13.2 Zemní val

Podklady pro návrh zemního valu provedený v této kapitole viz [7].

Zemní val (viz obr. 13.2) bude homogenní z jílovitého šterku.

Založení bude provedeno zámkem se sklonem svahů 1:1.

Sklon návodního líce bude 1:2,9, sklon vzdušního líce 1:2. Koruna valu bude vyspádována pod sklonem 2,5 % směrem na návodní líc, aby mohla voda z dešťových srážek volně odtékat.

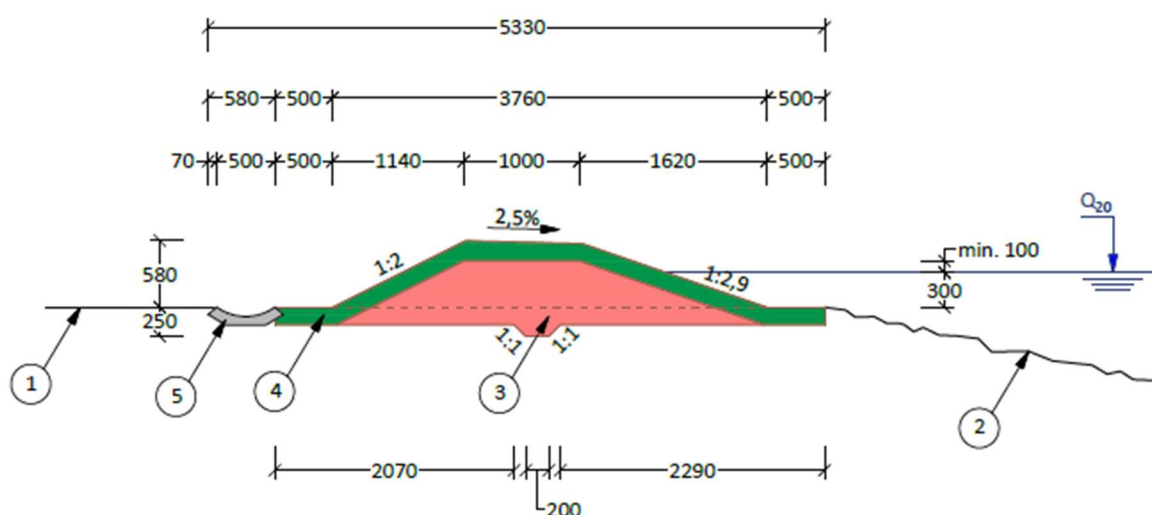
Zemní val bude nízký, přesto se okolo bude nacházet ochranné pásmo 0,5 m od paty návodního a vzdušního líce, které bude ohumusováno vrstvou mocnosti 0,15 m a oseto.

Na vzdušné straně se bude nacházet prefabrikovaný betonový žlab, který bude gravitačně odvádět vodu ze zahráží směrem k vodnímu toku Velička. V místě, kde by došlo k protnutí žlabu s protipovodňovou zdí (SO-14 ve variantě 1, viz obr. 11.10), bude žlab zaústěn do potrubí se zpětnou klapkou, které bude zaústěno do Veličky.

Homogenní část valu bude mít výšku minimálně 0,4 m, přičemž převýšení nad úrovní hladiny Q_{20} bude minimálně 0,1 m.

Val bude ohumusován vrstvou mocnosti 0,15 m a oset. Vegetaci na valu a v ochranném pásmu bude nutno udržovat správcem toku.

Další detaily viz příloha B.6.



Obr. 13.2 – Vzorový řez zemním valem (autor)

13.3 Mobilní hrazení

Mosty, dopravní komunikace a přístupové otvory v PPO budou hrazeny mobilním hrazením.

Přesný výběr výrobku by byl proveden ve vyšší úrovni projektové dokumentace.

14 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala návrhem PPO na vodním toku Velička (ústícím do Bečvy), který protéká místními částmi obce s rozšířenou působností Hranice a okrajem části sousední obce Olšovec.

Autorem byla získána geometrická data od Povodí Moravy, s.p. a studie proveditelnosti firmy AgPOL s.r.o., která řeší PPO daného úseku a několika dalších přítoků řeky Bečvy soustavou poldrů. Následně bylo na začátku září 2018 provedeno místní šetření upravovaného úseku, při kterém autor získal přehled o současném stavu vodního toku a jeho přilehlého okolí a pořídil fotodokumentaci.

Geometrická data byla převedena do programu HEC-RAS 5.0.6. Nedostatky v datech, jako například chybějící profily pod objekty, byly vyřešeny kopírováním geometrie existujících profilů na potřebný úsek v toku a úpravou jejich nadmořské výšky. Drsnosti byly určeny na základě výše uvedené fotodokumentace. Takto upravená geometrická data byla podložena Digitálním modelem reliéfu České republiky 5. generace.

Následně byla nalezena vhodná okrajová podmínka a proveden výpočet jednodimenzionálního modelu proudění v říčním režimu. Model byl zkalibrován dle údajů o úrovni hladiny z podélných profilů od Povodí Moravy, s.p. s odchylkou $\pm 0,5$ m, která byla shledána jako oprávněná vzhledem k nedostatečné kvalitě geometrických podkladů. Kalibrace byla provedena úpravou hodnot drsnosti v příčných profilech, úpravou hodnot přepadových součinitelů objektů a použitím funkce levees, která mění tvar průtočné plochy a může tím pádem částečně kompenzovat nedostatky jednodimenzionálního modelování proudění. V některých úsecích byla odchylka úrovní hladin mezi Povodím Moravy, s.p. a autorovým modelem větší než výše zmíněných 0,5 m. To bylo zaviněno nedostatečnou kvalitou geometrických dat, schematizací, nevyužitím možnosti větvení jednodimenzionálního modelu (údaje potřebné k vytvoření větví nebyly dostupné) a nedostatky jednodimenzionálního modelování.

Poté bylo provedeno vyhodnocení a vykreslení rozlivů Q_5 , Q_{20} a Q_{100} s přihlédnutím k nedostatkům použitých geometrických dat, Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace, podkladních map od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a nedostatkům jednodimenzionálního modelování proudění.

Byly vypracovány dvě varianty návrhu PPO s přihlédnutím k majetkoprávním vztahům. Varianta 1 nebrala v úvahu možnost realizace poldru Lhotka nacházejícím se nad posledním profilem řešeného úseku. Varianta 2 počítala s transformací průtoků tímto poldrem.

Na základě stávající zástavby byla provedena volba návrhových průtoků pro různé úseky toku v závislosti na charakteru zástavby. V případě varianty 1 byly jako návrhové zvoleny průtoky Q_{20} pro intravilán Hranice I-Město a Q_{50} pro intravilán Hranice III-Velká a Hranice II-Lhotka. U varianty 2 bylo zjištěno, že transformační účinek poldru Lhotka zcela ochrání intravilán

Hranice I-Město a Hranice II-Lhotka až do Q_{100} a že rozlivy průtoků Q_{50} a Q_{100} jsou téměř identické. Proto byla PPO navržena na průtok Q_{100} a to pouze v intravilánu Hranice III-Velká, kde docházelo k nežádoucímu rozliti vody mimo koryto.

Intravilán obce Olšovec nebyl ani v jedné variantě rozlivy vůbec zasažen až do Q_{100} , proto nebyla potřeba PPO v něm navrhovat.

Samotná PPO byla pojata jako PPO blízká přírodě, provedená formou protipovodňových zdí a zemních valů v oblasti intravilánu a formou inundací v extravilánu. Bylo doporučeno pročištění koryta od sedimentů. Předběžný návrh technického řešení protipovodňových zdí a zemních valů byl autorem taktéž proveden. S údržbou vegetace v prostoru koryta a okolí se neuvažovalo, jelikož je tato oblast výrazně renaturovaná a údržba by jen uškodila již existujícímu biotopu.

Ve výsledném porovnání je dle autora výhodnější realizovat variantu 2, tzn. realizovat poldr Lhotka s příslušným krátkým úsekem PPO v Hranice III-Velká. Důvodem je především ochrana na Q_{100} bez nutnosti stavět dlouhé úseky protipovodňových zdí. Značně nižší záběr pozemků pravděpodobně výrazně zkrátí dobu vyjednávání změn majetkoprávních poměrů, čímž se v celkové sumě sníží náklady na odkup pozemků, stavební materiály a realizaci stavby. Bonusem je navíc nepřímá transformace průtoku v řece Bečvě (Velička je jejím pravobřežním přítokem).

Dalšími kroky, které autor doporučuje, je vyřešení výrazné odlišnosti hydrologických dat mezi daty od Povodí Moravy, s.p. a Českého hydrometeorologického ústavu. Stejnou váhu přikládá autor vymodelování daného úseku toku dvoudimenzionálním modelem, který je na modelování rozlivů mimo původní koryto (tj. inundací) určen. Taktéž by bylo vhodné provést nové geodetické zaměření, při kterém budou profily zaměřeny hustěji a v intravilánu Hranice III-Velká i do větší vzdálenosti od koryta, než je tomu u současných dat. Pro vyšší stupně projektové dokumentace bude potřeba zajistit i další data (geologická, hydrogeologická, údaje o vedení inženýrských sítí atd.), staticky posoudit navržené technické řešení PPO, provést rizikovou analýzu projektu a navrhnout podélný profil PPO dle výše uvedených nových geodetických dat.

15 SEZNAM ZDROJŮ

- [1] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [2] JUST, Tomáš. *Revitalizace vodního prostředí: všem, kteří si přejí udělat z příkopů a kanálů zase potoky a řeky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2003. ISBN 80-86064-72-7.
- [3] RAŠKOVÁ, Eva. *Stabilizační prvky v říčním korytě – stabilizace dna* [online]. Brno, 2015 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/r8h3fh/>. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Miloslav Šlezinger.
- [4] ŠLEZINGR, M. *BR06 – Hydrotechnické stavby I, studijní opora*. VUT Brno, 2006.
- [5] *Břehové a doprovodné dřevinné porosty vodních toků*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta v Lednici. Vedoucí práce Vladimír Láznička.
- [6] *Oficiální stránky města – Město Hranice* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.mesto-hranice.cz>
- [7] ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [8] *Autodesk – Software pro 3D navrhování, projektování a zábavu* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz>
- [9] *BIM Technology – Vývoj doplňku pro ArchiCAD, Revit a AutoCAD* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://bimtech.cz>
- [10] *Welcome to QGIS project!* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.qgis.org/en/site/index.html>
- [11] *Desktopový GIS – Geografické informační systémy (GIS) - ARCDATA PRAHA* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arccgis/desktopovy-gis>
- [12] *Oficiální domovská stránka Microsoft* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/>
- [13] *Hydrologic Engineering Center Home Page* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil>
- [14] BRUNNER, Garry W. *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 5.0* [online]. 2016. [cit. 2019-05-14].
- [15] BOOR, Boris, KUNŠTÁTSKÝ, Jiří, PATOČKA, Cyril. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. SNTL/ALFA, 1968.

- [16] Cad Designer – UAE [online]. [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.autocadproblems.com>
- [17] *Pravda.sk: Investujú milióny, aby vrátili riekam pôvab – Reportáž – Žurnál* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://zurnal.pravda.sk/reportaz/clanok/424766-investuju-miliony-aby-vratili-riekam-povab/>
- [18] *INGPRO IWB, s.r.o.: Zához a pohož z lomového kamene, uvolnění průtočného profilu* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.ingpro.eu/vodohospodarske-stavby/zahoz-a-pohoz-z-lomoveho-kamene-uvolneni-prutocneho-profilu>
- [19] *INGPRO IWB, s.r.o.: Zához z lomového kamene, stabilizace dna dřevěnými prahy* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.ingpro.eu/vodohospodarske-stavby/zahoz-z-lomoveho-kamene-stabilizace-dna-drevenymi-prahy>
- [20] *INGPRO IWB, s.r.o.: Dřevěný práh, rovnanina, balvanitý skluz* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.ingpro.eu/vodohospodarske-stavby/dreveny-prah-rovnanina-balvanity-skluz>
- [21] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://mapy.cz>
- [22] *Mokřady z.s.: Budování nových tůní* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.mokrady.wbs.cz/Budovani-novych-tuni.html>
- [23] *Business Insider: Bangkok park holds a million gallons of rainwater to prevent flooding* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/bangkok-park-holds-a-million-gallons-of-rainwater-to-prevent-flooding-2018-7>
- [24] *Město Hranice: Protipovodňová opatření – poldry na menších tocích – Strategické projekty města* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.mesto-hranice.cz/clanky/protipovodnova-opatreni>
- [25] *Povodí Moravy: Napajedla jsou ochráněná před povodní z roku 1997* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/ppo/ochrana-pred-povodnimi/stavby-na-pravem-brehu-reky-moravy-v-napajedlech-ochrani-pred-povodnimi-obyvatele-i-majetek-za-374-milionu-korun/>
- [26] *Hodkovský potok* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/nektere-vodni-toky-strednich-cech/hodkovsky-potok/>
- [27] *Ústecký deník: Na Předmostí vyrostla protipovodňová stěna* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://ustecky.denik.cz/zpravy_region/na-predmosti-vyrostla-protipovodnova-stena-20131022.html

16 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 3.1 – Koryto s empiricky určenou hodnotou drsnosti [J]
- Obr. 3.2 – Schéma nerovnoměrného ustáleného proudění [1]
- Obr. 3.3 – Křivka vzduť (vlevo) a snížení [1]
- Obr. 3.4 – Princip rozdělení příčného profilu na sekce (překlad autor) [14]
- Obr. 4.1 – Panorama renaturovaných břehů na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.2 – Revitalizace stěhovavou kynetou na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.3 – Prizmatické koryto na VT Velička pod mostní konstrukcí (foto autor)
- Obr. 4.4 – Meandrce koryta v retenčním prostoru poldru Žichlínek [17]
- Obr. 4.5 – Pohoz z lomového kamene [18]
- Obr. 4.6 – Provádění záhozu z lomového kamene [19]
- Obr. 4.7 – Kamenná rovinanina [20]
- Obr. 4.8 – Kamenný obklad pod mostní konstrukcí na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.9 – Gabiony (levý břeh) na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.10 – Dřevěný stupeň na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.11 – Kamenný stupeň na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.12 – Kamenný skluz na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.13 – Schéma výškového umístění břehové vegetace vzhledem k vodním stavům [4]
- Obr. 4.14 – Čičovské mrtvé rameno na slovenském Dunaji [21]
- Obr. 4.15 – Tůň [22]
- Obr. 4.16 – Inundace na VT Velička (foto autor)
- Obr. 4.17 – Protipovodňový park v Bangkoku [23]
- Obr. 4.18 – Vizualizace poldru Lhotka na VT Velička (pohled protiproudě) [24]
- Obr. 4.19 – Zemní hráz u Napajedel [25]
- Obr. 4.20 – Protipovodňová stěna na Hodkovském potoce [26]
- Obr. 4.21 – Zkouška mobilního hrazení na silniční komunikaci v Ústí nad Labem [27]
- Obr. 7.1 – Stabilizace svahů vývaru pod kamenným stupněm na VT Velička (foto autor)
- Obr. 7.2 – Neudržované koryto VT Velička v intravilánu (foto autor)
- Obr. 7.3 – Koryto VT Velička v extravilánu zarůstající vegetací (foto autor)

Obr. 8.1 – Schéma přemístění profilu č. 56 nahoru proti proudu (autor)

Obr. 8.2 – Profily jsou kolmé na směr proudění (autor)

Obr. 8.3 – Příčný profil s rozlivem mimo koryto zadaný v HEC-RASu (autor)

Obr. 8.4 – Přerozdělení průtoků v profilu s nadměrnou odchylkou na ř. km 5,104 (autor)

Obr. 10.1 – Vyznačení budoucího silničního pozemku v Územním plánu [E]

Obr. 11.1 – Návrh PPO pomocí levees (autor)

Obr. 11.2 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-01 a SO-02 (autor)

Obr. 11.3 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-03 a SO-04 (autor)

Obr. 11.4 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-05 a SO-06 (autor)

Obr. 11.5 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-07 (autor)

Obr. 11.6 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-08 a SO-09 (autor)

Obr. 11.7 – Úsek toku, na kterém budou realizovány SO-10 a SO-11 (autor)

Obr. 11.8 – Inundační území, ve kterém bude realizován SO-12 (autor)

Obr. 11.9 – Inundační území, ve kterém bude realizován SO-13 (autor)

Obr. 11.10 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-14 (autor)

Obr. 12.1 – Úsek toku, na kterém bude realizován SO-01 (autor)

Obr. 13.1 – Vzorový řez protipovodňovou zdí (autor)

Obr. 13.2 – Vzorový řez zemním valem (autor)

17 SEZNAM TABULEK

Tab. 7.1 – Tabulka objektů [F, G]

Tab. 8.1 – Údaje pro výpočet okrajové podmínky sklonu dna [H]

Tab. 8.2 – Hydrologická data od PMO [F, G]

Tab. 8.3 – Hydrologická data PMO v kombinaci s poldrem Lhotka [F, G, T]

Tab. 8.4 – Hodnoty drsností použité v modelu [Q, J, 1]

Tab. 8.5 – Profily s nadměrnou odchylkou úrovní hladin [F, G]

Tab. 10.1 – Volba návrhových průtoků dle charakteru chráněného území [P]

Tab. 11.1 – Legenda k obrázkům stavebních objektů

Tab. 11.2 – Základní údaje o SO-01 a SO-02

Tab. 11.3 – Základní údaje o SO-03 a SO-04

Tab. 11.4 – Základní údaje o SO-05 a SO-06

Tab. 11.5 – Základní údaje o SO-07

Tab. 11.6 – Základní údaje o SO-08 a SO-09

Tab. 11.7 – Základní údaje o SO-10 a SO-11

Tab. 11.8 – Základní údaje o SO-12

Tab. 11.9 – Základní údaje o SO-13

Tab. 11.10 – Základní údaje o SO-14

Tab. 12.1 – Základní údaje o SO-01

18 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

1D	Jednodimenzionální (model)
2D	Dvoudimenzionální (model)
B.p.v.	Výškový systém Balt po vyrování
°C	Stupeň Celsia
C30/37	Beton charakteristické válcová (před lomítkem, [MPa]) a krychelné (za lomítkem, [MPa]) pevnosti
CSV	Textový soubor ve formátu CSV
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR 5G	Digitální model reliéfu České republiky 5. generace
DMT	Digitální model terénu (reliéfu), vytvořený autorem bakalářské práce
DWG	Základní formát souborů Autodesk CIVIL 3D
DXF	Formát umožňující výměnu dat mezi Autodesk CIVIL 3D a dalšími programy
GIS	Geografický informační systém
m	Metr
m n. m.	Metr(ů) nad mořem
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
PMO	Povodí Moravy, s.p.
PPO	Protipovodňová ochrana
ř. km	říční kilometr (dle Povodí Moravy, s.p.)
SHP	Formát souboru tvaru (anglicky shapefile)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SO-01	Stavební objekt číslo 01
ÚZ	Územní plán
VT	Vodní tok

WMS		Webová mapová služba
XC4		Třída prostředí betonu (střídavě mokré a suché)
XLSX		Základní formát souborů Microsoft Office Excel
ZM10		Základní mapa České republiky 1:10 000
α	[-]	Coriolisovo číslo, vyjadřující nerovnoměrné rozložení rychlostí
ξ	[-]	Součinitel místních ztrát
C	[m ^{0.5} /s]	Rychlostní součinitel
d_s	[m]	55% zrno křivky zrnitosti pro vrstvu pokrývající povrch koryta
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
Δh	[m]	Rozdíl hladin v profilech
H_{autor}	[m n. m.]	Nadmořská úroveň hladiny 100letého průtoku v modelu autora bakalářské práce
h_i	[m]	Hloubka hladiny pro konkrétní profil (značení v indexu)
h_m	[m]	Ztráty místní
$H_{povodí}$	[m n. m.]	Nadmořská úroveň hladiny 100letého průtoku v podélném profilu od Povodí Moravy, s.p.
h_t	[m]	Ztráty třením po délce
h_{zj}	[m]	Ztrátová výška
i_{0j}	[-]	Sklon dna
i_e	[-]	Sklon čáry energie
i_h	[-]	Sklon hladiny
i_{pj}	[-]	Průměrný sklon čáry energie
K	[-]	Součinitel změny průtočné plochy pro daný příčný profil
K_i	[-]	Součinitel změny průtočné plochy v sekci
K_{koryto}	[-]	Součinitel změny průtočné plochy koryta
K_{LB}	[-]	Součinitel změny průtočné plochy za levou břehovou čarou
K_{PB}	[-]	Součinitel změny průtočné plochy za pravou břehovou čarou
k_s	[-]	Součinitel závislý na zrně

L	[m]	Váženým průměrem určená délka koryta mezi příčnými profily, ve kterých je proudění řešeno
ΔL_j	[m]	Délka úseku koryta (pro řešení metodou po úsecích)
L_{LB}	[m]	Vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako břehové čáry na levé straně
L_{osa}	[m]	Vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako osa koryta
L_{RB}	[m]	Vzdálenost bodů v řešených profilech, které jsou určeny jako břehové čáry na pravé straně koryta
n	[-]	Drsnost, drsnost koryta, drsnostní součinitel
n_i	[-]	Drsnost sekce
n_{ik}	[-]	Dílčí drsnost
n_{koryto}	[-]	Průměrná drsnost koryta
O	[m]	Omočený obvod
O_i	[m]	Omočený obvod, na kterém se nachází dílčí drsnost
Q	[m ³ /s]	Průtok
Q_{LB}	[m ³ /s]	Průtok v oblasti nacházející se za levou břehovou čarou (směrem od koryta) až do konce profilu
Q_{osa}	[m ³ /s]	Průtok v oblasti koryta (tj. mezi břehovými čarami)
Q_{PB}	[m ³ /s]	Průtok v oblasti nacházející se za pravou břehovou čarou (směrem od koryta) až do konce profilu
Q_{sekce}	[m ³ /s]	Průtok v sekci
Q_1	[m ³ /s]	1letý průtok
Q_5	[m ³ /s]	5letý průtok
Q_{20}	[m ³ /s]	20letý průtok
Q_{100}	[m ³ /s]	100letý průtok
Q_{355}	[m ³ /s]	355denní průtok
Q_{364}	[m ³ /s]	364denní průtok
R	[m]	Hydraulický poloměr
R_i	[m]	Hydraulický poloměr sekce
S	[m ²]	Průtočná plocha profilu, ve kterém je průtok počítán

S_i	[m ²]	Průtočná plocha sekce
v	[m/s]	Rychlost proudění vody v korytě (obecně rychlost proudění)
v_i	[m/s]	Rychlost proudění pro konkrétní profil (značení v indexu)
y	[-]	Mocninný člen rychlostního vztahu dle Pavlovského

19 SEZNAM PŘÍLOH

Tabulková část:

- A.1 – Výstupní data (kalibrace modelu)
- A.2 – Výstupní data (stávající stav)
- A.3 – Analýza varianty 1 (tj. bez poldru Lhotka)
- A.4 – Analýza varianty 2 (tj. s poldrem Lhotka)

Výkresová část:

- B.1 – Situace širších vztahů
- B.2 – Situace zájmového území
- B.3 – Rozlivy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} – stávající stav
- B.4 – Rozlivy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} s vyznačením PPO
- B.5 – Rozliv Q_{100} – ovlivněno poldrem Lhotka
- B.6 – Vzorové úpravy